



***Trabajo Fin de Grado. Grado en Ingeniería
Mecánica***

**CALEFACCIÓN DE UNA VIVIENDA
UNIFAMILIAR UTILIZANDO LA BOMBA DE
CALOR DE COMPRESIÓN MECÁNICA DE
EXPANSIÓN DIRECTA**

Autor: Adrián Sanz Blázquez

Tutor: Marcelo Izquierdo Millán

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior

Departamento de Ingeniería Térmica y Fluidos

AGRADECIMIENTOS

Este Proyecto Fin de Carrera no hubiese sido posible sin el apoyo y constante ayuda del profesor **D. Marcelo Izquierdo Millán**, tutor de este trabajo, al cual agradezco su paciencia, su dedicación, sus correcciones y consejos a lo largo del proyecto.

Gracias a mi familia por haberme apoyado y animado desde el primer día a estudiar esta carrera, ya que sin su cariño y comprensión no hubiese podido seguir adelante.

Por último agradezco a los profesores de la Universidad Carlos III de Madrid su trabajo, y en especial a todos aquellos que me ayudaron con sus comentarios o sugerencias en algún momento.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	9
2. CARGA TÉRMICA.....	11
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA.....	11
2.2 CONDICIONES DE DISEÑO	12
2.3 CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA	12
2.3.1 CARGA DE TRANSMISIÓN.....	12
2.3.2 CARGA TÉRMICA POR RENOVACIÓN DE AIRE	21
2.3.3 CARGA TÉRMICA DE INFILTRACIÓN	22
2.3.4 CARGA TÉRMICA INTERNA.....	22
3. CALEFACCIÓN CON BOMBA DE CALOR	26
3.1 LA BOMBA DE CALOR	26
3.2 DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR	29
3.3 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE CALOR	36
4. SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA CALEFACCIÓN DE LA VIVIENDA.....	42
4.1 EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA EXTERIOR.....	42
4.2 EVOLUCIÓN DE LA CARGA TÉRMICA	45
4.3 EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA BOMBA DE CALOR	48
4.3.1 POTENCIA DEL EVAPORADOR	48
4.3.2 POTENCIA DEL CONDENSADOR.....	49
4.3.3 POTENCIA DEL COMPRESOR	51
4.3.4 POTENCIA DE LOS VENTILADORES.....	53
4.3.5 COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (COP).....	55
5. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	57
5.1 POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO (PEID)	58
5.2 POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO INDIRECTO (PEII)	59
5.3 POTENCIAL TOTAL DE CALENTAMIENTO (PTC).....	62

6. COMPARACIÓN DE UNA CALDERA (GAS O GASOIL) CON LA BOMBA DE CALOR.....	63
6.1 COSTE POR CONSUMO DE ENERGÍA	64
6.2 POTENCIAL TOTAL DE CALENTAMIENTO (PTC)	67
6.3 COSTE DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN.....	69
6.4 CONCLUSIONES DE LA COMPARACIÓN	72
7. PRESUPUESTO	74
8. CONCLUSIONES.....	76
9. NOMENCLATURA.....	78
10. BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	82
I. PLANOS DE LA VIVIENDA	82
II. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS.....	89
III. FACTURAS DE ELECTRICIDAD Y GAS NATURAL	103
IV. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS CALDERAS DE GAS Y GASOIL	105

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Esquema de funcionamiento de la bomba de calor para calefacción.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2. Fachada principal (izquierda) y fachada posterior (derecha) de la casa....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3. Valores límite del coeficiente global de transferencia de calor para cerramientos y particiones interiores (arriba) y para la zona climática D3 (abajo)...</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4. Transmisión del calor en muro enterrado.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 5. Transmisión del calor en muro enterrado.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 6. Bomba de calor de compresión mecánica accionada por motor eléctrico..</i>	<i>26</i>
<i>Figura 7. Ejemplo del ciclo básico y diagrama P-h de una bomba de calor.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 8. Ejemplo de diagrama T-s para una bomba de calor.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 9. Ciclo del refrigerante con los puntos más representativos.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 10. Diagrama P-h para el ciclo de la bomba de calor con R-410a.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 11. Rendimiento indicado para R-22 y R-12.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 12. Ejemplo de sistema multisplit en una vivienda.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 13. Split. Unidad horizontal de techo FHQ.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 14. Unidad exterior 5MXS90 de la bomba de calor.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 15. Especificaciones para las unidades interiores split seleccionadas.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 16. Especificaciones unidad exterior multisplit 5MXS90E.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 17. Evolución de la temperatura exterior para la temporada de calefacción.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 18. Evolución de la temperatura exterior para el intervalo horario de funcionamiento de la calefacción.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 19. Evolución de la temperatura exterior para el día más frío.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 20. Evolución de la temperatura exterior para el día más caluroso.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 21. Evolución de la temperatura exterior para un día intermedio.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 22. Evolución de la carga térmica para el día más frío.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 23. Evolución de la carga térmica para el día más caluroso.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 24. Evolución de la carga térmica para un día intermedio.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 25. Evolución de la demanda de calefacción a lo largo de la temporada de calefacción.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 26. Evolución de la potencia del evaporador para el día más frío.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 27. Evolución de la potencia del evaporador para el día más caluroso.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 28. Evolución de la potencia del evaporador para un día intermedio.....</i>	<i>49</i>

<i>Figura 29. Evolución de la potencia del condensador para el día más frío.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 30. Evolución de la potencia del condensador para el día más caluroso.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 31. Evolución de la potencia del condensador para un día intermedio.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 32. Evolución de la potencia del compresor para el día más frío.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 33. Evolución de la potencia del compresor para el día más caluroso.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 34. Evolución de la potencia del compresor para un día intermedio.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 35. Evolución de la demanda para la potencia eléctrica del compresor.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 36. Evolución de la potencia de los ventiladores para el día más frío.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 37. Evolución de la potencia de los ventiladores para un día intermedio.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 38. Evolución de la demanda para la potencia de los ventiladores.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 39. Evolución de la demanda de potencia eléctrica para la temporada de calefacción.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 40. Evolución del COP eléctrico para el día más frío.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 41. Evolución del COP eléctrico para un día intermedio.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 42. Evolución del COP eléctrico para la temporada de calefacción.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 43. Evolución de la masa de CO₂ emitido debido al funcionamiento del compresor.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 44. Evolución de la masa de CO₂ emitido por los ventiladores.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 45. Evolución de la masa total de CO₂ emitido.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 46. Características técnicas de la caldera de gas seleccionada.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 47. Características técnicas de la caldera de gasoil seleccionada.....</i>	<i>71</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Áreas de transferencia de las superficies características de la vivienda.....	11
Tabla 2. Condiciones interiores de la vivienda para el diseño.....	12
Tabla 3. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior (m^2K/W).....	13
Tabla 4. Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores (m^2K/W).....	14
Tabla 5. Características de los materiales que componen el muro exterior de la fachada.....	15
Tabla 6. Características de los materiales que componen la entreplanta con el garaje.....	15
Tabla 7. Características de los materiales que componen el tejado.....	16
Tabla 8. Características de los materiales que componen las ventanas.....	16
Tabla 9. Características de los materiales que componen las puertas, exterior y garaje.....	17
Tabla 10. Coeficiente global de transferencia de calor de muros enterrados U_T (W/m^2K).....	18
Tabla 11. Coeficiente global de transferencia de calor U_S para suelos en contacto con el terreno (W/m^2K).....	19
Tabla 12. Carga térmica de transmisión de la planta baja de la vivienda.....	20
Tabla 13. Carga térmica de transmisión de la planta alta de la vivienda.....	20
Tabla 14. Carga térmica de transmisión del garaje de la vivienda.....	20
Tabla 15. Carga térmica por renovación de aire en la vivienda.....	21
Tabla 16. Carga térmica de equipos internos.....	23
Tabla 17. Resumen de las cargas térmicas de la vivienda.....	24
Tabla 18. Resumen de las cargas de inercia térmica de la vivienda.....	24
Tabla 19. Resumen de las cargas térmicas máximas de la vivienda.....	25
Tabla 20. Resumen de entalpías del ciclo de la bomba de calor.....	32
Tabla 21. Superficies y volúmenes característicos de las habitaciones de la planta baja.....	38
Tabla 22. Resumen de las cargas térmicas totales de las habitaciones de la planta baja.....	38
Tabla 23. Resumen de las cargas térmicas máximas de las habitaciones de la planta baja.....	39
Tabla 24. Resumen de la selección del número de split y modelo para la planta..... baja	40

<i>Tabla 25. Resumen de la selección del número de split y modelo para la planta alta.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 26. Valor de emisiones de CO₂ producidas debido al consumo de electricidad</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 27. Demandas del sistema de calefacción para una temporada.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 28. Características básicas de los sistemas de calefacción convencionales.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 29. Características del Gasóleo C.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 30. Emisiones de CO₂ para el Gas Natural.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 31. Emisiones de CO₂ para el Gasóleo C.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 32. Precio por unidades de la bomba de calor.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 33. Modelo y precio de la caldera de gas.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 34. Costes totales del sistema de calefacción mediante caldera de gas.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 35. Modelo y precio de la caldera de gasoil.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 36. Costes totales del sistema de calefacción mediante caldera de gasoil.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 37. Comparación entre sistemas de calefacción para una temporada.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 38. Comparación de costes entre sistemas de calefacción para 20 años.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 39. Comparación de emisiones entre sistemas de calefacción para 20 años....</i>	<i>73</i>

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene por objeto el estudio de un sistema de calefacción para una vivienda unifamiliar mediante una bomba de calor de compresión mecánica. El servicio de calefacción será diseñado para garantizar el cumplimiento de las condiciones de confort en el interior de la vivienda durante los meses más fríos del año.

En primer lugar se estudiará el tipo de vivienda, dimensiones, así como su situación, aspectos necesarios para calcular la carga térmica del edificio, que determinará la energía y potencia necesaria a suministrar por la instalación. Se considerará la carga térmica de transmisión, así como la de renovación del aire, infiltraciones e interna. Este cálculo se realizará garantizando el cumplimiento de la normativa vigente, tanto del *Código Técnico de la Edificación (CTE)*, como del *Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE)*.

Esto permitirá dimensionar la instalación y seleccionar el sistema adecuado entre los existentes en el mercado. La bomba de calor seleccionada será reversible, aunque en este proyecto sólo se analizará su funcionamiento como bomba de calor. De tal forma que el foco del que se extrae el calor que se introduce en la vivienda, en invierno, es el aire exterior.

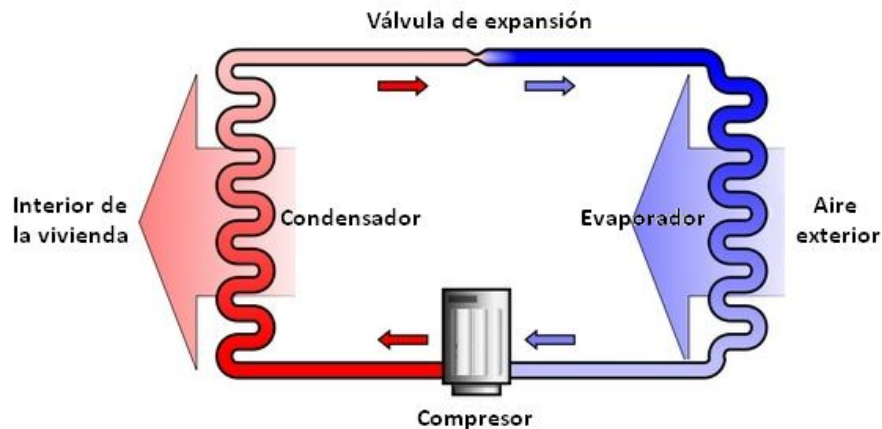


Figura 1. Esquema de funcionamiento de la bomba de calor para calefacción

A partir de la bomba de calor seleccionada se realizarán una serie de análisis de funcionamiento en la misma. Se llevará a cabo un proceso de simulación del sistema de calefacción para la época de invierno, periodo comprendido desde el 1 de Noviembre al 30 de Abril, en cual se mostrarán los resultados de las variables más representativas. Este estudio tomará como base los datos climatológicos del año 2010, datos reales atmosféricos medidos en periodos de diez minutos para todos los días del año. El equipo encargado de tomar estos datos se encuentra instalado en Arganda del Rey, Madrid, en las instalaciones del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

El equipo que funcionará como bomba de calor será del tipo aire-aire, empleando un fluido de trabajo, refrigerante, que circulará por el interior de la máquina de compresión mecánica transfiriendo el calor desde ese lugar hacia el exterior. Teniendo en cuenta el refrigerante empleado por la bomba de calor se realizará una valoración medioambiental en la cual se conseguirán extraer conclusiones acerca del impacto ambiental generado por la solución adoptada.

Además de esto, por medio de un estudio comparativo entre la bomba de calor y un sistema convencional, caldera de gas natural y gasóleo C, se pretenderán mostrar las principales ventajas o inconvenientes de un sistema frente al otro, comentando la mejor solución para el caso estudiado. Este análisis permitirá obtener una serie de conclusiones acerca de los sistemas existentes en el mercado y sus principales características como sistema de calefacción.

Por último se realizará el presupuesto para el sistema de calefacción seleccionado, la bomba de calor, y su instalación en la vivienda. En este punto se mostrará el coste del equipo para el servicio de calefacción de la vivienda estudiada.

Los anexos del proyecto incorporarán información acerca del equipo seleccionado como bomba de calor, además de los planos detallados de la vivienda en estudio.

2. CARGA TÉRMICA

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA

La vivienda unifamiliar objeto de estudio se trata de una casa real situada en Madrid. Consta de dos plantas principales, una baja con 103 m² y una buhardilla con 95 m², además de un garaje con 116 m². Su situación la hace colindar a ambos lados con dos viviendas habitadas y climatizadas, limitando la zona de transferencia de calor a las dos fachadas, principal y posterior, tejado y garaje de la casa. Todas las medidas empleadas a lo largo del proyecto han sido extraídas de los planos reales de la casa, Anexo I.



Figura 2. Fachada principal (izquierda) y fachada posterior (derecha) de la casa

Para facilitar el cálculo de la carga térmica se detallarán en la siguiente tabla las superficies características de la vivienda:

Superficie	Área (m²)
Muro exterior (Planta Baja)	45,13
Muro exterior (Garaje)	27,8
Suelo de entreplanta con el garaje	90,33
Tejado	105,1
Puerta Principal	1,89
Puerta (Garaje)	6,75
Ventanas (Planta Baja)	12,58
Ventanas (Planta Alta)	3,75
Ventanas (Garaje)	5,5

Tabla 1. Áreas de transferencia de las superficies características de la vivienda

2.2 CONDICIONES DE DISEÑO

Las condiciones interiores de diseño deberán satisfacer el bienestar térmico de los ocupantes. Según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) dicha temperatura interior estará comprendida, para la estación de invierno, entre los 21 y 23 °C y una humedad relativa del 40 a 50 %. La temperatura elegida para el diseño de la vivienda ha sido 22 °C, y una humedad relativa del 50 %.

Estación	Temperatura interior (°C)	Humedad relativa (%)
Verano	23 a 25	45 a 60
Invierno	21 a 23	40 a 50

Tabla 2. Condiciones interiores de la vivienda para el diseño

En cuanto a la selección de la temperatura exterior se ha escogido el mínimo valor entre los datos climatológicos del año 2010 para la provincia de Madrid. Esta temperatura exterior de diseño para calcular la máxima carga térmica será de -6 °C.

Por su parte, la temperatura para el garaje sin climatizar se estimó mediante muestreo durante el mes de Enero, obteniendo una temperatura media de 8 °C.

2.3 CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA

En este apartado se calculará la carga térmica máxima, que determinará la potencia térmica que será empleada para mantener en el interior de la vivienda unas condiciones de confort térmico. Este cálculo se realizará estudiando las pérdidas térmicas del edificio por transmisión, renovación del aire e infiltraciones, así como cargas internas en la vivienda.

2.3.1 CARGA DE TRANSMISIÓN

La carga térmica debida a la transmisión de calor entre las superficies características de la vivienda, *Tabla 1*, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{transmission} = U \cdot A \cdot (t_{int} - t)$$

Siendo:

- U el coeficiente global de transferencia de calor (W/m²K)
- A el área de transferencia
- t_{int} la temperatura de diseño en el interior de la vivienda
- t la temperatura en el exterior o en la zona adyacente sin climatizar

Donde U , según el apéndice E del Documento Básico HE, ahorro de energía, del CTE viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Siendo:

- R_T la resistencia térmica total del elemento constructivo (m^2K/W)

Donde R_T es la suma de las resistencias de las capas que componen el cerramiento, incluyendo las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior, R_{si} y R_{se} :

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

La resistencia térmica de una capa se calcula de la siguiente forma:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Siendo:

- e el espesor de la capa (m)
- λ la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa (W/mK)

Por su parte, R_{si} y R_{se} , se toman de las siguientes tablas, presente en el apéndice E de la norma citada anteriormente, teniendo en cuenta la posición del cerramiento o partición interior y la dirección del flujo de calor:

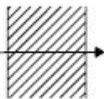

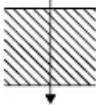
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

Tabla 3. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior (m^2K/W)




Posición de la <i>partición interior</i> y sentido del flujo de calor	R_{se}	R_{si}
Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal 	0,13	0,13
Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente 	0,10	0,10
Particiones interiores horizontales y flujo descendente 	0,17	0,17

Tabla 4. Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores (m^2K/W)

Con estas consideraciones se podrían calcular las cargas térmicas de transmisión de la vivienda. Sin embargo, antes de continuar cabe destacar que para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (U) existen valores límites que no pueden superarse, dependiendo de la zona climática donde se localiza de la vivienda. Para el caso estudiado, vivienda situada en Madrid, se encuentra en la zona climática D3 de acuerdo al Documento Básico HE, limitación de demanda energética (HE 1). En la siguiente figura se muestran dichos valores límites:

<i>Cerramientos y particiones interiores</i>	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos ⁽²⁾	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m

⁽²⁾ Las transmitancias térmicas de vidrios y marcos se compararán por separado.

ZONA CLIMÁTICA D3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{lim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{lim}: 0,28$

Figura 3. Valores límite del coeficiente global de transferencia de calor para cerramientos y particiones interiores (arriba) y para la zona climática D3 (abajo)

A continuación se estudiará el coeficiente global de transferencia de calor para cada uno de los cerramientos de la vivienda, observando que no se superen los valores límite en cada caso, *Figura 3*.

MURO EXTERIOR FACHADA

Capa	e (m)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Exterior	-	-	0,04
Ladrillo cara vista	0,12	0,76	0,158
Mortero de cemento	0,01	1,4	$7,14 \cdot 10^{-3}$
Espuma de poliuretano	0,04	0,023	1,74
Ladrillo hueco	0,04	0,49	0,081
Enlucido de yeso	0,02	0,3	0,066
Interior	-	-	0,13
R_T (m²K/W)			2,22

Tabla 5. Características de los materiales que componen el muro exterior de la fachada

Las resistencias térmicas superficiales corresponden a un cerramiento vertical con sentido de flujo hacia el exterior en invierno. Por tanto el coeficiente global de transferencia de calor total del muro es:

$$U_{\text{muro exterior}} = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Es válido ya que es menor que el valor máximo permitido $U_{\text{máx}}=0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$.

SUELO DE ENTREPLANTA CON EL GARAJE

Capa	e (m)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Interior	-	-	0,17
Baldosas	0,01	1	0,01
Mortero de cemento	0,02	1,4	0,014
Espuma de poliuretano	0,04	0,023	1,74
Bovedilla cerámica ; E de 45 a 65 cm; H=12 cm	-	-	0,14
Enlucido de yeso	0,01	0,3	0,033
Exterior	-	-	0,17
R_T (m²K/W)			2,28

Tabla 6. Características de los materiales que componen la entreplanta con el garaje

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor en este caso las resistencias superficiales interior y exterior corresponden con una partición interior de la vivienda, *Tabla 4*, con flujo de calor descendente:

$$U_{\text{entreplanta}} = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Cumple el CTE-DBHE, ya que establece como valor límite $U_{\text{máx}}=0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$.

TEJADO

Capa	e (m)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Exterior	-	-	0,04
Teja de arcilla	0,02	1	0,02
Tela asfáltica	0,01	0,7	0,014
Mortero de cemento	0,02	1,4	0,014
Espuma de poliuretano	0,06	0,023	2,61
Bovedilla cerámica ; E de 45 a 65 cm; H=12 cm	-	-	0,14
Mortero de cemento	0,02	1,4	0,014
Enlucido de yeso	0,01	0,3	0,033
Interior	-	-	0,10
R_T (m²K/W)			2,985

Tabla 7. Características de los materiales que componen el tejado

Se ha considerado para el tejado un sentido del flujo de calor en el tejado ascendente, del interior hacia el exterior:

$$U_{techo} = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Es válido puesto que es menor que el valor máximo permitido $U_{m\acute{a}x}=0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$.

VENTANAS

Capa	e (m)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Exterior	-	-	0,04
Vidrio	0,004	0,95	$4,21 \cdot 10^{-3}$
Cámara de aire	0,006	0,023	0,26
Vidrio	0,004	0,95	$4,21 \cdot 10^{-3}$
Interior	-	-	0,13
R_T (m²K/W)			0,438

Tabla 8. Características de los materiales que componen las ventanas

Tipo de cerramiento vertical, flujo horizontal del interior hacia el exterior, por tanto el coeficiente global de transferencia de calor total es:

$$U_{ventanas} = 2,28 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Es inferior al valor límite del Documento Básico HE, zona D, *Figura 3*.

PUERTAS

<i>Capa</i>	<i>e (m)</i>	<i>λ (W/mK)</i>	<i>R (m²K/W)</i>
Exterior	-	-	0,04
Madera opaca	0,035	0,21	0,17
Interior	-	-	0,13
<i>R_T (m²K/W)</i>			0,34

Tabla 9. Características de los materiales que componen las puertas, exterior y garaje

Sentido horizontal del flujo, del interior hacia el exterior, por tanto el coeficiente global de transferencia de calor total para este cerramiento vertical es:

$$U_{puerta} = 2,94 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Cumple el CTE-DBHE.

GARAJE

Fachada principal

Para la fachada principal de la vivienda el muro del garaje correspondiente a este lado de la casa se encuentra totalmente enterrado. Por tanto la transmisión de calor en este caso se produce según la *Figura 4*:

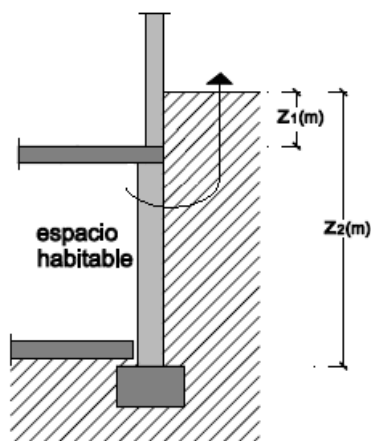


Figura 4. Transmisión del calor en muro enterrado

Atendiendo a la norma CTE-DB-HE el valor del coeficiente U en este caso se obtiene de la siguiente tabla, *Tabla 10*. En esta, R_m será la resistencia del muro exterior sin tener en cuenta las resistencias superficiales, interior y exterior, y z la profundidad del muro enterrado.

Obteniendo el valor de estos parámetros:

$$R_m = 2,05 \text{ m}^2\text{K/W}$$
$$z = 4,7 \text{ m}$$

Rm (m² K/W)	Profundidad z de la parte enterrada del muro (m)					
	0,5	1	2	3	4	≥ 6
0,00	3,05	2,20	1,48	1,15	0,95	0,71
0,50	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44
1,00	0,74	0,65	0,54	0,47	0,42	0,34
1,50	0,54	0,49	0,42	0,37	0,34	0,28
2,00	0,42	0,39	0,35	0,31	0,28	0,24

Tabla 10. Coeficiente global de transferencia de calor de muros enterrados U_T ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

Mediante una interpolación lineal se obtiene:

$$U_T = 0,26 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

Fachada posterior

En cuanto a la fachada posterior de la vivienda el muro exterior del garaje está en contacto con el aire exterior, solera a nivel del terreno, sin aislamiento perimetral. Por lo que la transmisión de calor en este caso se produce según la siguiente figura:

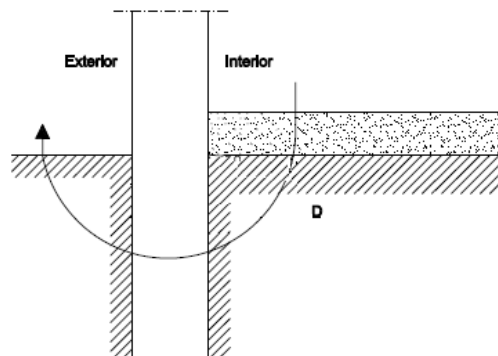


Figura 5. Transmisión del calor en muro enterrado

El valor del coeficiente U según la norma CTE-DB-HE se obtiene de la tabla que se muestra a continuación, *Tabla 11*. Cabe destacar que debido a que la solera no posee aislamiento térmico el coeficiente global de transferencia de calor se tomará de la columna correspondiente a $R_a=0 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa

B'	R _a	D = 0.5 m					D = 1.0 m					D ≥ 1.5 m				
		R _a (m² K/W)					R _a (m² K/W)					R _a (m² K/W)				
	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

Tabla 11. Coeficiente global de transferencia de calor U_s para suelos en contacto con el terreno (W/m²K)

Es necesario por tanto obtener el valor de B', definida como longitud característica, cociente entre la superficie del suelo y la longitud del perímetro de la solera.

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2} \cdot P}$$

Como se mencionó anteriormente el suelo del garaje tiene una superficie de 116 m², y el perímetro será el correspondiente a la longitud de la fachada posterior.

$$B' = \frac{116}{\frac{1}{2} \cdot 13,35} = 17,38$$

Realizando una interpolación lineal, ya que no existe referencia para la B' calculada, se obtiene:

$$U_s = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Ambos coeficientes obtenidos para el garaje cumplen con los valores máximos establecidos, *Figura 3*, por tanto son válidos.

Una vez calculadas y comprobadas todos los coeficientes globales de transferencia de calor de cada uno de los cerramientos, conocidas las áreas de transmisión de las superficies características de la vivienda, *Tabla 1*, así como las temperaturas de diseño de la misma, se procede al cálculo de la carga térmica de transmisión.

Planta baja

Superficie	U (W/m²K)	A (m²)	t_{int} (°C)	t (°C)	$Q_{transmisión}$ (W)
Fachadas	0,45	45,13	22	-6	568,64
Entrepunta garaje	0,44	90,33	22	8	556,43
Puerta	2,94	1,89	22	-6	803,11
Ventanas	2,28	12,58	22	-6	155,58
TOTAL					2083,76

Tabla 12. Carga térmica de transmisión de la planta baja de la vivienda

Planta alta

Superficie	U (W/m²K)	A (m²)	t_{int} (°C)	t (°C)	$Q_{transmisión}$ (W)
Tejado	0,33	105,1	22	-6	971,12
Ventanas	2,28	3,75	22	-6	239,4
TOTAL					1210,52

Tabla 13. Carga térmica de transmisión de la planta alta de la vivienda

Garaje

Superficie	U (W/m²K)	A (m²)	t_{int} (°C)	t (°C)	$Q_{transmisión}$ (W)
Fachada posterior	0,45	27,8	8	-6	175,14
Ventanas	2,28	5,5	8	-6	175,56
Puerta	2,94	6,75	8	-6	277,83
Muro enterrado	0,33	59,93	8	-6	86,35
Solera a nivel	0,26	18,69	8	-6	218,14
TOTAL					933,02

Tabla 14. Carga térmica de transmisión del garaje de la vivienda

Cabe destacar el cálculo del área tanto para el muro enterrado como para la solera a nivel se realizaron tomando medidas sobre el plano de la vivienda. Se tomó 4,7 m y 1,4 m de profundidad del muro, para la fachada principal y posterior respectivamente.

Resumiendo la carga térmica total de transmisión como la suma de las tres plantas de la vivienda el resultado es:

$$Q_{TOTAL \text{ transmisión}} = 4227,3 \text{ W} = 4,23 \text{ kW}$$

2.3.2 CARGA TÉRMICA POR RENOVACIÓN DE AIRE

En este punto se considera la pérdida de calor debida a la renovación de aire de la vivienda. Esta carga térmica desfavorable es necesaria para asegurar la calidad del aire en el interior de la vivienda. Se compensa el aire que se expulsa hacia el exterior con el que se introduce en la vivienda a temperatura exterior.

$$Q_{\text{renovación}} = m_{\text{ren}} \cdot C_p \cdot (t_{\text{int}} - t)$$

Siendo:

- m_{ren} el caudal de aire de renovación (Kg/s)
- C_p el calor específico del aire (1004,67 J/KgK)
- t_{int} la temperatura de diseño en el interior de la vivienda
- t la temperatura en el exterior o en la zona adyacente sin climatizar

Donde m_{ren} , realizando la hipótesis de que en una hora el volumen de aire de renovación es el mismo al contenido en la vivienda, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$m_{\text{ren}} = \frac{V_{\text{ren}} \cdot \rho_{\text{aire}}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

Siendo:

- ρ_{aire} la densidad del aire (1,22 Kg/m³)
- V_{ren} el volumen de aire de renovación (m³)

A continuación se calcularán para cada una de las plantas de la vivienda la carga térmica por renovación de aire, hallando en cada caso el volumen de aire contenido en la vivienda y el caudal de aire de renovación. La carga de renovación del garaje se calcula para renovar el aire de los posibles gases contaminantes presentes en el ambiente en dicho emplazamiento, pero no se tendrá en cuenta a la hora de calcular la carga térmica de la vivienda, por tanto su valor no se suma al total calculado en la *Tabla 15*.

	$V_{\text{ren}} \text{ (m}^3\text{)}$	$m_{\text{ren}} \text{ (Kg/s)}$	$t_{\text{int}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	$t \text{ (}^\circ\text{C)}$	$Q_{\text{renovación}} \text{ (W)}$
<i>Planta baja</i>	291,72	0,081	22	-6	2278,59
<i>Planta alta</i>	161,22	0,055	22	-6	1547,19
<i>Garaje</i>	348	0,118	8	-6	1659,72
TOTAL					3825,78

Tabla 15. Carga térmica por renovación de aire en la vivienda

$$\boxed{Q_{\text{TOTAL renovación}} = 3825,78 \text{ W} = 3,83 \text{ kW}}$$

2.3.3 CARGA TÉRMICA DE INFILTRACIÓN

Al igual que la carga térmica de renovación del aire se podría calcular del mismo modo en este punto un caudal de aire infiltrado. Sin embargo dicha estimación resulta dificultosa, ya que es complicado determinar el caudal que entra hacia el interior de la vivienda a través de las rendijas de puertas o ventanas. Por tanto, se supone que la carga térmica debida a infiltraciones será igual al 30 % de la carga térmica de renovación de aire:

$$Q_{\text{infiltración}} = 0,3 \cdot Q_{\text{renovación}} = 0,3 \cdot 3825,78 = 1147,74 \text{ W}$$

$$\boxed{Q_{\text{infiltración}} = 1147,74 \text{ W} = 1,15 \text{ kW}}$$

2.3.4 CARGA TÉRMICA INTERNA

Esta carga térmica es debida a los ocupantes de la vivienda así como la iluminación de la misma o los equipos conectados. A continuación se detalla el cálculo, suponiendo unos factores de utilización para cada una de ellas a lo largo del día, puesto que su funcionamiento no es continuo.

Ocupantes

En este punto se tiene en cuenta la carga térmica favorable que produce el ser humano. Supondremos que la vivienda será habitada por cuatro personas, donde cada una de ellas desprende calor latente y sensible, se considera por tanto:

$$Q_{\text{persona}} = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}} = 60 + 40 = 100 \text{ W}$$

Como la casa no estará habitada en todo momento por sus ocupantes, se utiliza un factor de ocupación, tomando 0,75 para el cálculo de la carga térmica de las personas:

$$Q_{\text{personas}} = n^{\circ} \text{ personas} \cdot \text{factor ocupación} \cdot Q_{\text{persona}} = 4 \cdot 0,75 \cdot 100 = 300 \text{ W}$$

Iluminación

La iluminación empleada en la vivienda contribuirá de forma positiva a la carga térmica, funcionando la bomba de calor como calefacción. Para el cálculo de esta carga se obtiene que para una vivienda como la estudiada la potencia necesaria para el alumbrado es de 15 W/m².

De tal forma que multiplicando esta potencia por la superficie total de la casa, además de un factor de utilización de la iluminación se obtiene:

$$Q_{iluminación} = Potencia \left(\frac{W}{m^2} \right) \cdot factor\ utilización \cdot Superficie$$

$$Q_{iluminación} = 15 \cdot 0,2 \cdot (112 + 95,54 + 116) = 971,22 \text{ W}$$

Equipos

Por último se tienen en cuenta las cargas favorables debido a equipos electrónicos o electrodomésticos que se encuentren en la vivienda, aportando calor a la misma. La mayoría de estos equipos no se encuentran conectados durante todo el día, por tanto, al igual que con el alumbrado o las personas, se tomará un factor de utilización en este caso de 0,5.

Descripción del equipo	Número de equipos	Carga térmica (W)
Televisión	2	300
Ordenador	1	250
Nevera	1	30
Lavadora y equipo de música	1	100

Tabla 16. Carga térmica de equipos internos

Por tanto, el cálculo de la carga térmica de los equipos se resume de la siguiente forma:

$$Q_{equipos} = \sum Carga\ térmica \cdot factor\ utilización = 0,5 \cdot 680 = 340 \text{ W}$$

La carga térmica interna total, sumando cada una de las contribuciones es:

$$Q_{interna} = Q_{personas} + Q_{iluminación} + Q_{equipos} = 1611,22 \text{ W}$$

$$\boxed{Q_{interna} = 1611,22 \text{ W} = 1,61 \text{ kW}}$$

Para concluir el apartado relativo al cálculo de la carga térmica, apartado 2.3, en la siguiente tabla se resumen los resultados para cada una de las plantas de la vivienda, *Tabla 17*, mostrando el valor de la carga térmica total obtenida mediante la siguiente expresión:

$$Q_{\text{térmica total}} = Q_{\text{transmisión}} + Q_{\text{renovación}} + Q_{\text{infiltración}} - Q_{\text{interna}}$$

	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)	$Q_{\text{renovación}}$ (W)	$Q_{\text{infiltración}}$ (W)	Q_{interna} (W)	$Q_{\text{térmica total planta}}$ (W)
<i>Planta baja</i>	2083,76	2278,59	683,58	-	5045,93
<i>Planta alta</i>	1210,52	1547,19	464,16	-	3221,87
<i>Garaje</i>	933,02	-	-	-	933,02
$Q_{\text{térmica total}}$	4227,3	3825,78	1147,74	1611,22	7589,6

Tabla 17. Resumen de las cargas térmicas de la vivienda

Sin embargo, esta carga térmica total de la vivienda no será la que se utilice en el diseño de la bomba de calor, puesto que no se ha tenido en cuenta en su cálculo el efecto de la carga de inercia térmica que se explicará a continuación.

Como se detallará más adelante en el apartado de simulación, el sistema de calefacción no funcionará en régimen continuo durante todo el día. Existe un intervalo de tiempo entre las 20 y las 7 horas del día siguiente en cual no está funcionando. En este periodo la vivienda se enfría, y por tanto en las primeras horas de funcionamiento del sistema, para cada día, es necesario un aporte extra de calor con el objetivo de conseguir la temperatura de confort en el interior de la vivienda.

Esta energía extra es lo que se conoce como carga de inercia térmica. El cálculo de dicha carga de inercia resulta dificultoso, puesto que habría que calcular la carga térmica en régimen transitorio, alejándose esto de los objetivos de este proyecto, sin embargo no puede obviarse. Por ello se ha tenido en cuenta una simplificación para su cálculo, suponiendo un valor para dicha carga del 30 % de la carga térmica instantánea de la vivienda.

$$Q_{\text{inercia térmica}} = 0,3 \cdot Q_{\text{térmica total (transmisión, renovación, infiltración)}}$$

	$Q_{\text{térmica total}}$ (W)	$Q_{\text{inercia térmica}}$ (W)
<i>Transmisión</i>	4227,3	1268,19
<i>Renovación</i>	3825,78	1147,74
<i>Infiltración</i>	1147,74	344,32

Tabla 18. Resumen de las cargas de inercia térmica de la vivienda

Con esto quedan determinadas todas las cargas térmicas de la vivienda y por tanto puede calcularse finalmente la carga térmica máxima de la vivienda. Sumando el efecto de la inercia térmica y de las cargas internas a los valores calculados en la *Tabla 17*, se determinará la carga térmica máxima mediante la siguiente expresión:

$$Q_{\text{térmica máxima}} = Q_{\text{térmica total}} + Q_{\text{inercia térmica}}$$

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

	$Q_{\text{térmica total (W)}}$	$Q_{\text{inercia térmica (W)}}$	$Q_{\text{térmica máxima (W)}}$
<i>Transmisión</i>	4227,3	1268,19	5495,49
<i>Renovación</i>	3825,78	1147,74	4973,52
<i>Infiltración</i>	1147,74	344,32	1492,06
<i>Interna</i>	1611,22	-	1611,22
TOTAL	7589,6	2760,25	10349,85

Tabla 19. Resumen de la cargas térmicas máximas de la vivienda

Se ha obtenido un valor total de carga térmica máxima para el invierno en la vivienda que será la base para el diseño de la bomba de calor y la selección del equipo de calefacción que se realizará en los siguientes apartados.

$Q_{\text{TÉRMICA MÁXIMA}} = 10,35 \text{ kW}$

3. CALEFACCIÓN CON BOMBA DE CALOR

3.1 LA BOMBA DE CALOR

Una bomba de calor es una máquina térmica cuyo objetivo consiste en extraer calor de un foco a baja temperatura para transferirlo a otro foco a temperatura más elevada. Para lograrlo es necesario un aporte de trabajo puesto que el calor se dirige de forma espontánea de un foco caliente a uno frío, y no al revés, por la segunda ley de la termodinámica.

En este proyecto el aporte de energía para el funcionamiento de la máquina se realizará mediante la compresión mecánica de un gas refrigerante, el cual será el encargado de transferir el calor desde un foco térmico al otro. La compresión mecánica se produce accionando el compresor mediante un motor de tipo eléctrico.

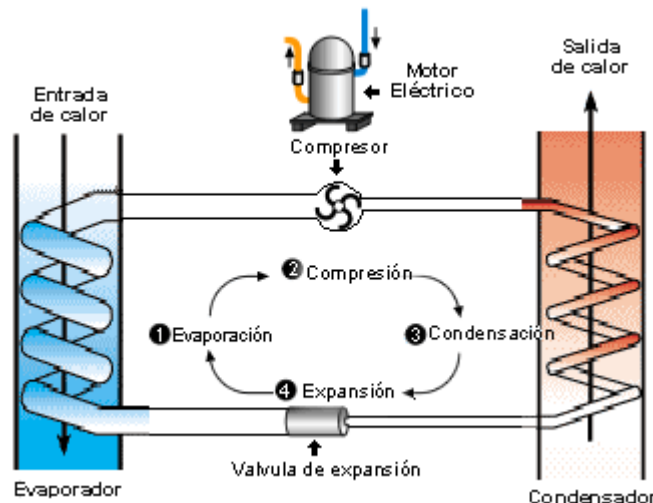


Figura 6. Bomba de calor de compresión mecánica accionada por motor eléctrico

Dependiendo del medio del cual se extrae el calor, y al que se cede el mismo, existen distintos tipos de bomba de calor de compresión mecánica. En este proyecto la bomba de calor que se diseñará será del tipo aire-aire, dada la aplicación descrita, calefacción de una vivienda, tomando como focos el aire exterior e interior.

Los principales componentes de una bomba de calor, *Figura 6*, son el compresor mecánico, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador. Por su parte el fluido frigorífico que circula por el sistema, refrigerante, absorberá la energía cedida por el compresor, y esto hará que lo impulse a través del circuito.

A continuación se detalla cada uno de los procesos del ciclo de funcionamiento de la bomba de calor, haciendo referencia a los puntos representados en el ciclo de la *Figura 7*.

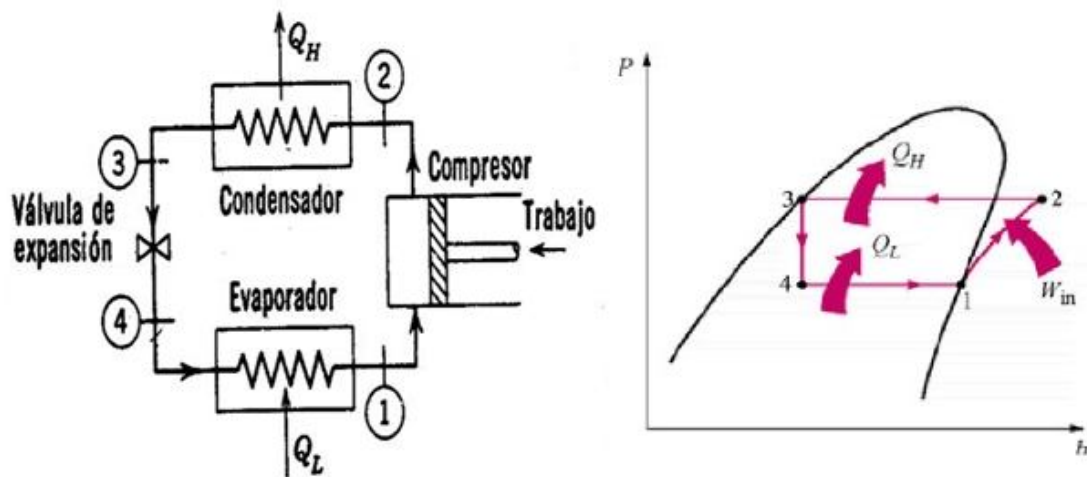


Figura 7. Ejemplo del ciclo básico y diagrama P-h de una bomba de calor

El calor del foco frío es captado por un intercambiador denominado evaporador (puntos 4-1), cediéndolo al refrigerante que circula en estado líquido por el circuito y que pasa a vaporizarse a presión y temperatura constante.

En la compresión, el fluido refrigerante, que llega al punto 1 en forma de vapor, aumenta su presión y temperatura mediante el aporte de trabajo que se produce en el compresor (puntos 1-2).

El refrigerante llega al otro intercambiador, condensador (puntos 2-3), en forma de vapor sobrecalentado. Este vapor circula por el condensador cediendo su calor a un fluido exterior, y volviendo así el refrigerante a estado líquido. El calentamiento del fluido exterior, aire, es el efecto útil del ciclo que se utilizará para calefacción.

En el último proceso, el refrigerante que circula por la máquina ya se encuentra en estado líquido, punto 3, por lo que se le hace pasar por una válvula de expansión (puntos 3-4), de tal forma que se obtienen de nuevo las condiciones iniciales del refrigerante en la máquina, presión y temperatura de evaporación. Proceso de expansión adiabática para cerrar el ciclo y de este modo poder volver a iniciar el proceso.

Con esto queda definido el ciclo de funcionamiento de una bomba de calor. A continuación puede verse, *Figura 8*, una representación del diagrama T-s de una bomba de calor, tomando la numeración de la *Figura 7* para los componentes de la misma.

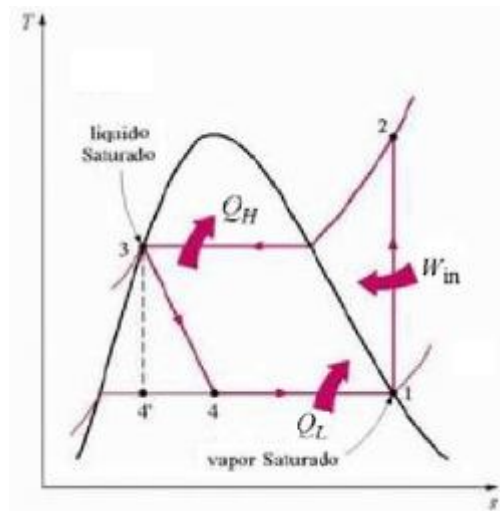


Figura 8. Ejemplo de diagrama T-s para una bomba de calor

En este proyecto se empleará una bomba de calor de compresión mecánica reversible, es decir, que pueda utilizarse para calentar el aire en el interior de la vivienda en invierno y enfriarlo en verano. La mayoría de las bombas de calor son reversibles, lo cual supone una gran ventaja al poder emplearse un solo equipo como sistema de calefacción y de refrigeración. Sin embargo en este informe tan sólo se analizará su comportamiento para el invierno, como sistema de calefacción.

Una de las principales ventajas por las cuales se emplea la bomba de calor como sistema de calefacción es su alta eficiencia energética. Esta máquina es capaz de aportar más energía de la que se consume, debido a que el sistema funcionando como calefacción absorbe energía del ambiente exterior y la incorpora a la vivienda como energía útil de calefacción.

Sin embargo, uno de los inconvenientes que presenta el sistema es que la potencia calorífica que es capaz de suministrar la bomba de calor disminuye a medida que desciende la temperatura exterior. Como se describirá más adelante, la potencia calorífica está relacionada directamente con el caudal de refrigerante que circula por el sistema, y éste desciende si lo hace la temperatura exterior. Por tanto el rendimiento de la bomba será menor cuando la temperatura exterior disminuye.

3.2 DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR

En este apartado se realizan los cálculos necesarios para el diseño y selección de la bomba de calor que aportará calefacción a la vivienda estudiada. Para ello son necesarios una serie de datos de partida con los cuales se procederá a realizar el ciclo específico de la bomba de calor.

Temperatura de evaporación

Se determina a partir de la temperatura exterior ($-6\text{ }^{\circ}\text{C}$), considerando un salto de unos $6\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se tomará un valor de $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, garantizando la transferencia de calor con el exterior.

$$T_{\text{evap}} = -12\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Temperatura de condensación

Se considera la temperatura de impulsión ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$) próxima a la temperatura corporal del ser humano ($37\text{ }^{\circ}\text{C}$), garantizando condiciones de confort para los ocupantes, sin que sientan excesivamente la zona en la que se expulsa el calor. Con el valor de la temperatura de impulsión, más un salto de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ podemos decir que se tomará un valor de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la temperatura de condensación.

$$T_{\text{cond}} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$$

La bomba de calor se diseñará para estas temperaturas de evaporación y condensación, empleando en este proyecto el refrigerante R-410a. Además de esto se tomarán un número de grados de recalentamiento y subenfriamiento para la obtención del ciclo de la máquina. Estos valores serán de $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

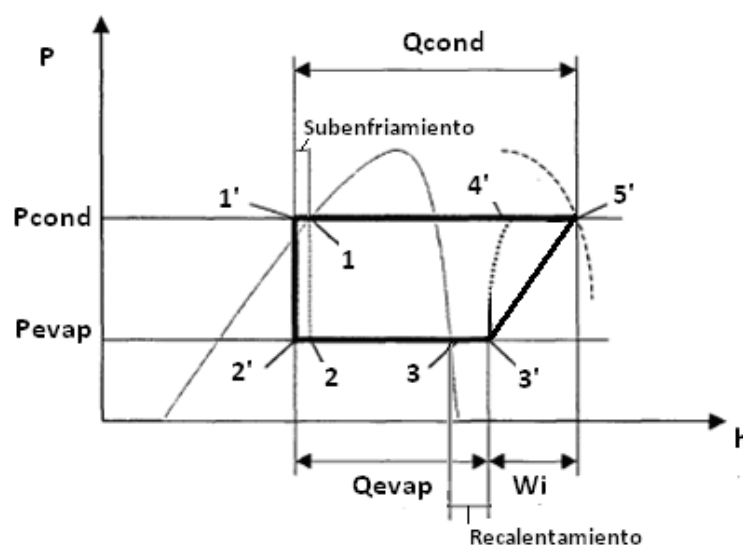


Figura 9. Ciclo del refrigerante con los puntos más representativos

A partir de estos datos se puede obtener el ciclo de la bomba de calor, *Figura 10*, usando el diagrama termodinámico del refrigerante, y extraer del mismo los valores necesarios para su cálculo.

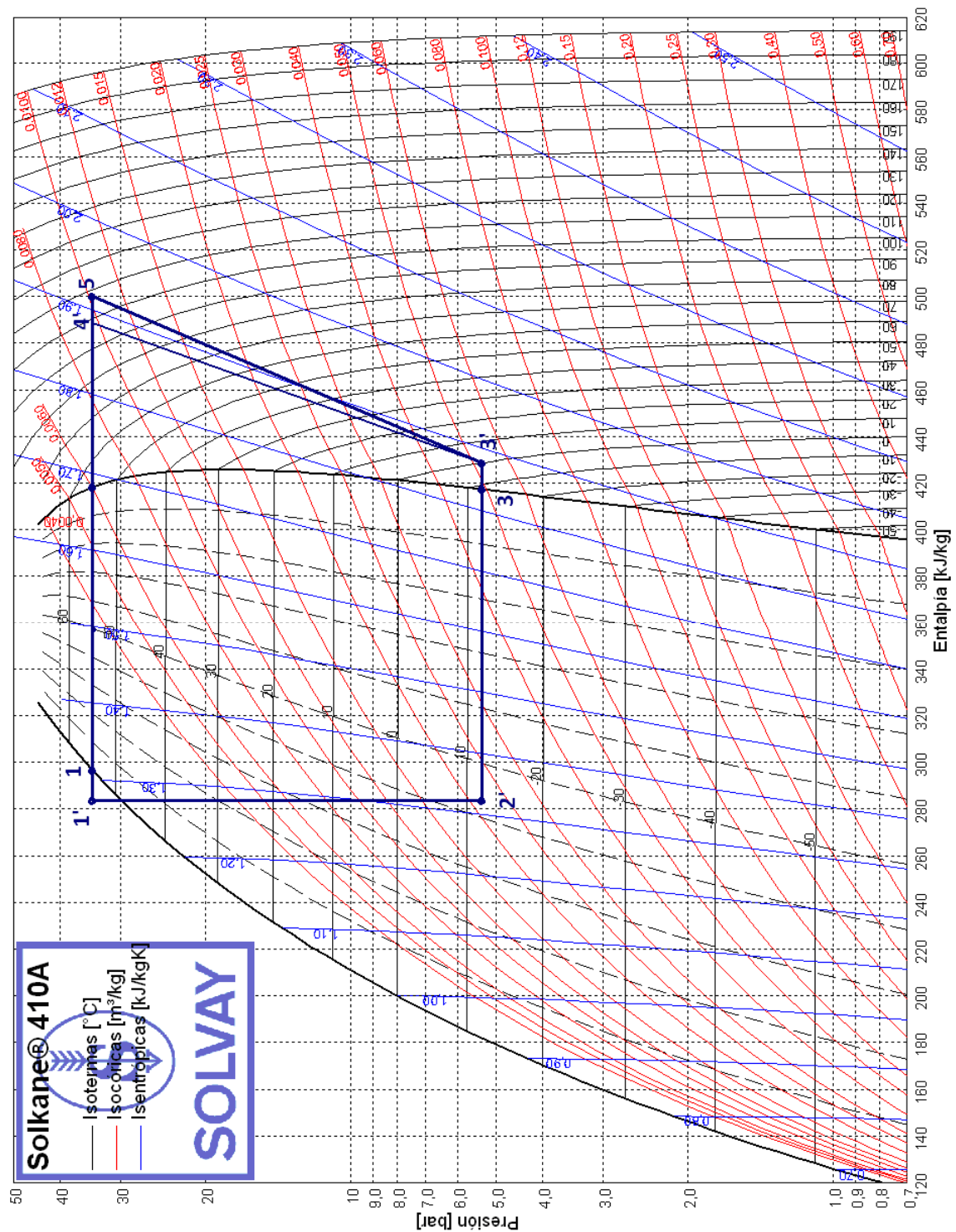


Figura 10. Diagrama P-h para el ciclo de la bomba de calor con R-410a

Observando la imagen se obtienen las presiones de evaporación y condensación:

$$P_{evap} = 5,3 \text{ bar}$$

$$P_{cond} = 35 \text{ bar}$$

Al circular el refrigerante por cada uno de los componentes de la bomba de calor se producen pérdidas de carga, las cuales son más significativas en el evaporador y en el condensador. Debido a esto se realizan las siguientes consideraciones para los evaporadores y condensadores, diseñándose para una pérdida de carga del 10% y 5%, respectivamente, de la presión absoluta de trabajo. Las presiones reales para evaporador y condensador son:

$$P_{aspiración} = 0,9 \cdot P_{evap} = 4,77 \text{ bar}$$

$$P_{descarga} = 1,05 \cdot P_{cond} = 36,75 \text{ bar}$$

Las pérdidas de carga en ambos componentes son:

$$\Delta P_{evap} = P_{evap} - P_{aspiración} = 0,53 \text{ bar}$$

$$\Delta P_{cond} = P_{descarga} - P_{cond} = 1,75 \text{ bar}$$

Una vez calculadas las presiones de aspiración y descarga, la relación de compresión viene dada por la siguiente expresión:

$$r = \frac{P_{descarga}}{P_{aspiración}} = 7,7$$

A partir de esta relación de compresión se puede obtener el rendimiento indicado, empleando la *Figura 11*, cuyo valor permitirá el cálculo de la entalpía en el punto 5 del ciclo de la bomba de calor.

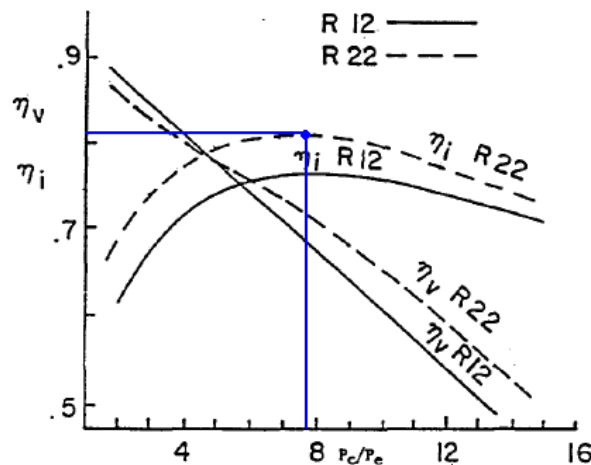


Figura 11. Rendimiento indicado para R-22 y R-12

Al no disponer de una gráfica específica para el rendimiento indicado del R-410a se supone de manera aproximada que es igual al del R-22. Esta aproximación puede realizarse ya que las relaciones de compresión de ambos refrigerantes son similares.

$$\eta_{in} = 0,81$$

Obtenido el rendimiento indicado se calcula el punto de descarga del compresor, punto 5 del diagrama, mediante la siguiente expresión:

$$\eta_{in} = \frac{h_4' - h_3'}{h_5 - h_3'} \Rightarrow h_5 = h_3' + \frac{h_4' - h_3'}{\eta_{in}} = 498 \text{ KJ / Kg}$$

El resto de entalpías de los puntos característicos del ciclo se obtienen directamente del diagrama P-h obtenido, *Figura 10*. La nomenclatura de los puntos marcados en el ciclo corresponde con:

Punto	h (KJ/Kg)
1 : Fin de la condensación	296
1': Fin del subenfriamiento	284
2': Salida de la válvula de expansión	284
3 : Fin de la evaporación	418
3': Fin del sobrecalentamiento y entrada al compresor	430
4': Fin de la compresión	485
5 : Punto de descarga del compresor	498

Tabla 20. Resumen de entalpías del ciclo de la bomba de calor

Conociendo el valor de todas las entalpías ya es posible calcular los parámetros de la bomba de calor.

Potencia del condensador por unidad de masa

$$q_{cond} = h_5 - h_1' = 214 \text{ KJ / Kg}$$

Con este valor, y la potencia del condensador, que para el caso de bomba de calor será igual a la carga térmica máxima (10,35 kW) es posible calcular el caudal de refrigerante que circula por el circuito.

Caudal de refrigerante

$$\dot{m}_r = \frac{Q_{TM}}{q_{cond}} = 0,0483 \text{ Kg / s}$$

Potencia del evaporador por unidad de masa

$$q_{evap} = h_3' - h_2' = 146 \text{ KJ / Kg}$$

Potencia del evaporador

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_r \cdot q_{evap} = 7,01 \text{ kW}$$

Potencia indicada del compresor por unidad de masa

$$w_{comp} = h_5 - h_3' = 69 \text{ KJ / Kg}$$

Potencia indicada del compresor

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}_r \cdot w_{comp} = 3,31 \text{ kW}$$

Tomando para este proyecto unos rendimientos para el compresor, mecánico y eléctrico con un valor de 0,85 para ambos se puede calcular:

Potencia mecánica del compresor por unidad de masa

$$w_m = \frac{w_{comp}}{\eta_{mec}} = 81,176 \text{ KJ / Kg}$$

Potencia eléctrica del compresor por unidad de masa

$$w_e = \frac{w_m}{\eta_{ele}} = 95,50 \text{ KJ / Kg}$$

Potencia eléctrica del compresor

$$\dot{W}_e = \dot{m}_r \cdot w_e = 4,58 \text{ kW}$$

Con los valores obtenidos se procede al cálculo de los coeficientes de eficiencia energética (COP)

Coefficiente de eficiencia energética mecánico (COP_m)

$$COP_m = \frac{q_{cond}}{w_m} = 2,64$$

Coeficiente de eficiencia energética eléctrico o coeficiente de operación (COP_e)

$$COP_e = \frac{q_{cond}}{w_e} = 2,24$$

Por último se procede al cálculo de las potencias de los ventiladores, tanto para el condensador como para el evaporador.

Potencia de los ventiladores del condensador

$$W_{vent\ cond} = \frac{\dot{m}_{cond} \cdot \Delta P_{vent\ cond}}{\rho \cdot \eta_{cond}}$$

Siendo:

- \dot{m}_{cond} el caudal de aire del condensador (Kg/s)
- $\Delta P_{vent\ cond}$ la diferencia de presión en el condensador (Pa)
- ρ_{aire} la densidad del aire (1,22 Kg/m³)
- η_{cond} el rendimiento del condensador tomando un valor de 0,6.

Donde:

$$\dot{m}_{cond} = \frac{Q_{cond}}{C_p \cdot \Delta T_{cond}}$$

- Q_{cond} es la potencia del condensador, igual a la carga térmica máxima (W)
- C_p es el calor específico del aire (1004,67 J/KgK)
- ΔT_{cond} es la diferencia de temperaturas entre la impulsión y el interior de la vivienda

Por tanto:

$$\dot{m}_{cond} = \frac{10,35 \cdot 10^3}{1004,67 \cdot (40 - 22)} = 0,378 \text{ Kg / s}$$

$$W_{vent\ cond} = \frac{0,572 \cdot 300}{1,22 \cdot 0,6} = 234,43 \text{ W}$$

Potencia de los ventiladores del evaporador

El cálculo para los ventiladores del evaporador es exactamente igual, tomando los valores correspondientes para el evaporador en lugar del condensador.

$$W_{vent\ evap} = \frac{\dot{m}_{evap} \cdot \Delta P_{vent\ evap}}{\rho \cdot \eta_{evap}}$$

Siendo:

- \dot{m}_{evap} el caudal de aire del evaporador (Kg/s)
- $\Delta P_{vent\ evap}$ la diferencia de presión en el evaporador (Pa)
- ρ_{aire} la densidad del aire (1,22 Kg/m³)
- η_{evap} el rendimiento del evaporador tomando un valor 0,6

Donde:

$$\dot{m}_{evap} = \frac{Q_{evap}}{C_p \cdot \Delta T_{evap}}$$

- Q_{evap} es la potencia del evaporador (W)
- C_p es el calor específico del aire (1004,67 J/KgK)
- ΔT_{evap} es la diferencia de temperaturas entre la exterior y la del evaporador

Resultando:

$$\dot{m}_{evap} = \frac{7,01 \cdot 10^3}{1004,67 \cdot (-6 - (-12))} = 1,163 \text{ Kg / s}$$

$$W_{vent\ evap} = \frac{1,163 \cdot 190}{1,22 \cdot 0,6} = 301,87 \text{ W}$$

3.3 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE CALOR

En este punto ya se disponen de los datos necesarios para seleccionar un modelo de bomba de calor la cual funcione con el refrigerante R-410a para la aplicación de calefacción de la vivienda descrita en el proyecto.

Existen distintos tipos para bombas de calor de accionamiento mecánico empleados en las instalaciones individuales. Los equipos pueden ser de tipo compacto, los cuales tienen todos los componentes en la misma unidad, o de tipo partido, con una unidad exterior y otra interior. Este último es el tipo de bomba de calor que se empleará.

Se ha elegido un sistema multisplit para satisfacer las condiciones de confort en el interior de la vivienda. Consta de una unidad exterior que sirve a varias unidades interiores con circuitos frigoríficos independientes entre sí. Para la aplicación de calefacción la unidad exterior corresponderá al evaporador, mientras que la unidad interior será el condensador.

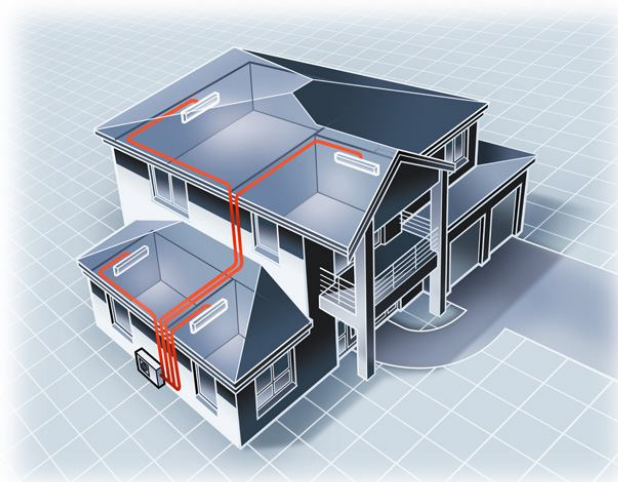


Figura 12. Ejemplo de sistema multisplit en una vivienda

La elección de la unidad exterior dependerá del número de unidades interiores a las cuales deberá proporcionar servicio de calefacción. Por su parte los splits o unidades interiores se colocarán en cada una de las habitaciones de la vivienda, como se detallará más adelante.

Una vez descrito el tipo de bomba de calor que se empleará para la instalación, a continuación se elige el fabricante entre los existentes en el mercado, así como los modelos para los equipos que formarán parte del sistema de calefacción.

El fabricante elegido ha sido Daikin, y se ha optado por un sistema de funcionamiento de bomba de calor reversible mediante split. El modelo seleccionado como unidad interior, split, de la bomba de calor es el siguiente:



Figura 13. Split. Unidad horizontal de techo FHQ

Para la unidad exterior de la bomba de calor se ha optado por un sistema multisplit en el cual pueden conectarse hasta cinco unidades interiores FHQ. Por tanto la unidad exterior seleccionada del mismo fabricante, siendo compatible con el split es la siguiente:



Figura 14. Unidad exterior 5MXS90 de la bomba de calor

A continuación se detalla el cálculo para determinar el número de split a colocar en la vivienda, según la carga térmica que demanda cada una de las habitaciones de la misma. En función de esta carga se seleccionará el modelo específico de split para cada emplazamiento.

En las siguientes tablas se resumen las cargas térmicas máximas, para las condiciones de diseño de la vivienda, en cada uno de los emplazamientos climatizados para la planta baja y alta. Cabe destacar que se han calculado empleando las mismas fórmulas que en el apartado 2.3 de este proyecto.

Planta baja

En primer lugar se detallan en la siguiente tabla los valores de las superficies y volúmenes característicos de las habitaciones de esta planta, numeradas según el Anexo I, con el fin de facilitar el cálculo de la carga térmica máxima:

Superficie	$A_{transmisión}(m^2)$	$A_{entreplanta}(m^2)$	$V(m^3)$
Salón (Habitación 1)	6,17	25,81	67,11
Habitación 2	12,17	13,40	34,84
Habitación 3	6,55	11,74	30,52
Habitación 4	7	10,66	27,72

Tabla 21. Superficies y volúmenes característicos de las habitaciones de la planta baja

Las cargas térmicas únicamente en las habitaciones de la planta baja quedan resumidas de la siguiente forma:

	$Q_{transmisión}(W)$	$Q_{transmisión\ entreplanta}(W)$	$Q_{renovación}(W)$	$Q_{infiltración}(W)$	$Q_{térmica\ total\ habitación}(W)$
Salón (Habitación 1)	77,74	159	638,57	191,57	1066,88
Habitación 2	153,28	82,54	332	99,60	667,42
Habitación 3	82,53	72,32	290,87	87,26	532,98
Habitación 4	88,26	65,67	264,15	79,25	497,33
TOTAL	401,81	379,53	1525,59	457,68	2764,61

Tabla 22. Resumen de las cargas térmicas totales de las habitaciones de la planta baja

Teniendo en cuenta el efecto de la carga de inercia térmica explicado con anterioridad, apartado 2.3, se obtienen los valores máximos para la carga térmica de las habitaciones de la planta baja mediante la siguiente expresión:

$$Q_{térmica\ máxima} = Q_{térmica\ total\ habitación} + Q_{inercia\ térmica}$$

Tomando para la carga de inercia térmica un valor del 30 % de la carga térmica total de las habitaciones.

$$Q_{térmica\ máxima} = Q_{térmica\ total\ habitación} + 0,3 \cdot Q_{térmica\ total\ habitación}$$

A continuación se muestran los resultados obtenidos, empleando posteriormente los valores de carga máxima para cada emplazamiento como el mínimo valor de potencia que deberá poseer el equipo seleccionado para dicha habitación.

	$Q_{\text{térmica total habitación}} (W)$	$Q_{\text{inercia térmica}} (W)$	$Q_{\text{térmica máxima habitación}} (W)$
Salón (Habitación 1)	1066,88	320,06	1386,94
Habitación 2	667,42	200,23	867,65
Habitación 3	532,98	159,89	692,87
Habitación 4	497,33	149,20	646,53
TOTAL	2764,61	829,38	3594

Tabla 23. Resumen de las cargas térmicas máximas de las habitaciones de la planta baja

Planta alta

Como puede verse en los planos de la vivienda, *Anexo I*, la planta alta está determinada como zona habitable, y por tanto deberá disponer de calefacción. Sin embargo, esta planta no está dividida en habitaciones, es una superficie sin divisiones o tabiques. Por tanto, la carga térmica máxima para esta planta corresponderá con la calculada en un apartado anterior, *Tabla 17*, con un valor de:

$$Q_{\text{térmica total planta alta}} = 3221,87 \text{ W}$$

Considerando el efecto de la carga de inercia térmica:

$$Q_{\text{térmica máxima planta alta}} = Q_{\text{térmica total planta alta}} + Q_{\text{inercia térmica}}$$

Empleando la misma suposición que a lo largo del informe, con un valor del 30 % de la carga térmica total de la planta:

$$Q_{\text{térmica máxima planta alta}} = Q_{\text{térmica total planta alta}} + 0,3 \cdot Q_{\text{térmica total planta alta}}$$

Se obtiene un valor que servirá para seleccionar el equipo adecuado para este emplazamiento de la vivienda de:

$$Q_{\text{térmica máxima planta alta}} = 4188,43 \text{ W}$$

De acuerdo a estos resultados de cargas máximas, para cada habitación de la planta baja, *Tabla 23*, y para la planta alta, se muestra a continuación la selección para las unidades interiores, split, y el número de estas necesarias para cubrir la demanda de calefacción.

Planta baja

Superficie	Modelo split	Nº split
Salón (Habitación 1)	FHQ35BUV1B	1
Habitación 2	FHQ35BUV1B	1
Habitación 3	FHQ35BUV1B	1
Habitación 4	FHQ35BUV1B	1

Tabla 24. Resumen de la selección del número de split y modelo para la planta baja

Planta alta

Superficie	Modelo split	Nº split
Planta alta	FHQ50BUV1B	1

Tabla 25. Resumen de la selección del número de split y modelo para la planta alta

En la siguiente imagen puede verse como se cumplen las capacidades de calefacción de los split para las zonas en las cuales serán ubicados, satisfaciendo la carga térmica máxima de dichos emplazamientos:

UNIDADES INTERIORES				FHQ35BUV1B	FHQ50BUV1B	FHQ60BUV1B
CAPACIDAD (3)	min.-nom.-máx.	Refrigeración (1)	kW	1.4-3.4-3.7	0.90-5.00-5.60	0.90-5.70-6.00
	min.-nom.-máx.	Calefacción (2)	kW	1.4-4.1-5.0	0.90-6.00-7.00	0.90-7.20-8.00
CONSUMO	min.-nom.-máx.	Refrigeración	kW	0.30-1.21-1.50	0.45-1.83-2.02	0.44-2.15-2.23
	min.-nom.-máx.	Calefacción	kW	0.29-1.18-1.62	0.36-2.05-2.45	0.40-2.49-2.75
EER				2.81	2.73	2.65
COP				3.47	2.93	2.89
ETIQUETA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	Refrigeración			C	D	D
	Calefacción			B	D	D
CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA			kWh	605	915	1,075

UNIDADES INTERIORES				FHQ35BUV1B	FHQ50BUV1B	FHQ60BUV1B
CAPACIDAD (3)	min.-nom.-máx.	Refrigeración (1)	kW	1.4-3.4-3.7	0.90-5.00-5.60	0.90-5.70-6.00
	min.-nom.-máx.	Calefacción (2)	kW	1.4-4.1-5.0	0.90-6.00-7.00	0.90-7.20-8.00
CONSUMO	min.-nom.-máx.	Refrigeración	kW	0.30-1.21-1.50	0.45-1.83-2.02	0.44-2.15-2.23
	min.-nom.-máx.	Calefacción	kW	0.29-1.18-1.62	0.36-2.05-2.45	0.40-2.49-2.75
EER				2.81	2.73	2.65
COP				3.47	2.93	2.89
ETIQUETA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	Refrigeración			C	D	D
	Calefacción			B	D	D
CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA			kWh	605	915	1,075

Figura 15. Especificaciones para las unidades interiores split seleccionadas

Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa

Para cada una de las plantas y habitaciones de la vivienda, las unidades interiores, splits, serán capaces de cubrir las necesidades en las mismas, disponiendo de unas potencias superiores a las cargas térmicas presentes en dichos lugares.

Las habitaciones de la planta baja dispondrán del modelo de split *FHQ35BUV1B*, con una potencia nominal de 4,1 kW, superior a cualquiera de las cargas máximas presentes en dichos emplazamientos, *Tabla 23*.

Por su parte, en la planta alta se instalará el modelo de split *FHQ50BUV1B*, capaz de proporcionar una potencia nominal de 6 kW, superior a la carga térmica máxima presente en dicha planta, con un valor de 4,18 kW.

Las especificaciones para la unidad exterior seleccionada, modelo *5MXS90E*, que se ubicará en la terraza de la fachada posterior de la vivienda, son las siguientes:

Unidades exteriores múltiples				5MXS90E
Capacidad	Refrigeración	Mín-Nom-Máx	W	3.490-9.000-9.310
	Calefacción	Mín-Nom-Máx	W	4.970-10.400-11.120
Consumo	Refrigeración	Mín-Nom-Máx	W	710-3.020-3.360
	Calefacción	Mín-Nom-Máx	W	900-2.610-2.890
Tipo de compresor				SWING
Refrigerante				R-410A

Figura 16. Especificaciones unidad exterior multisplit 5MXS90E

Puede verse como en condiciones de funcionamiento nominal, la bomba de calor será capaz de proporcionar 10,4 kW, superior a la carga térmica máxima de la vivienda para las condiciones de diseño, 10,35 kW.

Como ampliación a las especificaciones de los equipos seleccionados se muestran en el *Anexo II* de este proyecto las características técnicas de cada una de las unidades seleccionadas en este punto.

4. SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA CALEFACCIÓN DE LA VIVIENDA

En este punto se realiza la simulación de la calefacción de la vivienda a lo largo de un año mediante el programa Mathcad. Se disponen de los datos meteorológicos recogidos en Madrid en los años 2009-2010, tomados a intervalos de diez minutos para cada uno de los días del año. Por tanto existen 144 datos para cada día, cargados en el programa para poder determinar y representar los distintos parámetros de interés de la calefacción.

Considerando la temporada de funcionamiento de calefacción del día 1 de Noviembre al 30 de Abril, un total de 181 días, en el eje x de las gráficas se representarán los días del año correspondientes a dicho periodo. El intervalo anual representado comenzará en el día 305 (1 de Noviembre) y terminará en el 120 (30 de Abril) de cada año.

4.1 EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA EXTERIOR

A continuación se representará la variación de la temperatura exterior en la vivienda a lo largo de la temporada de calefacción, un total de 181 días, en los cuales la temperatura variará como puede verse en la siguiente imagen.

Esta representación nos permitirá evaluar si los parámetros de la bomba de calor obtienen un comportamiento acorde a la temperatura exterior de la vivienda.

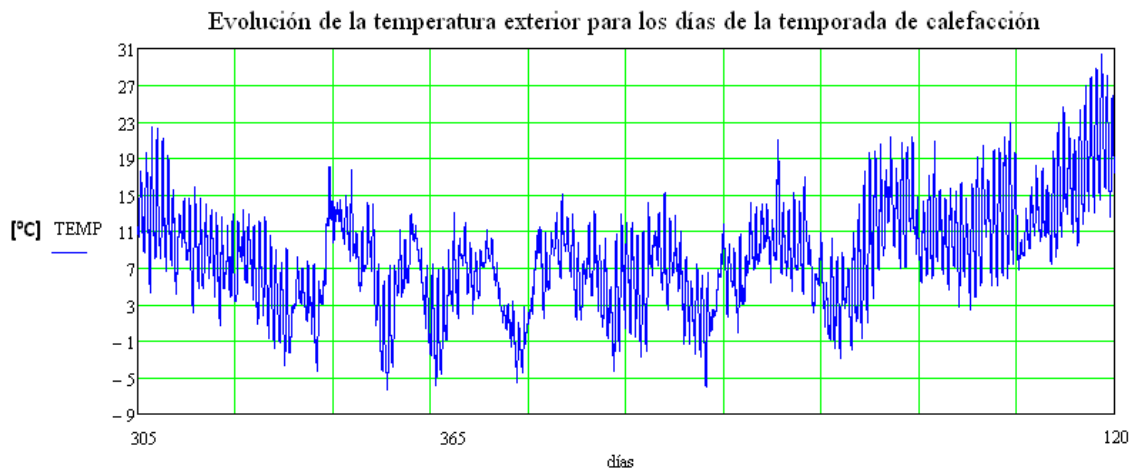


Figura 17. Evolución de la temperatura exterior para la temporada de calefacción

Se observa que uno de los días más fríos del año corresponde con el 10 de Enero (día=10), en el cual se alcanza una temperatura de -5,6 °C. Por su parte, el día más caluroso del año se encuentra el 28 de Abril (día=118), cuya temperatura máxima alcanzada para la temporada de calefacción es de 30,93 °C.

Cabe destacar que las temperaturas mostradas en la *Figura 17* han sido tomadas para un día entero, 24 h, sin embargo el sistema de calefacción no funcionará continuamente en todo el día. Suponiendo para este apartado un horario de calefacción desde las 7 h hasta las 20 h, la evolución de las temperaturas exteriores es la siguiente:

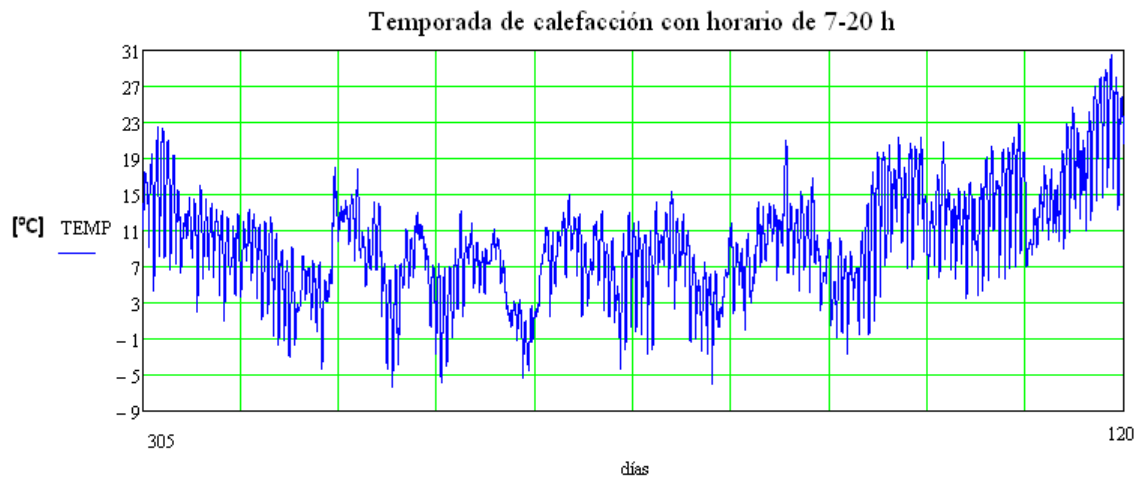


Figura 18. Evolución de la temperatura exterior para el intervalo horario de funcionamiento de la calefacción

Puede verse que se mantienen los días característicos mencionados anteriormente, tanto uno de los días más fríos como el más caluroso en el 10 de Enero y 28 de Abril respectivamente. Estudiando la evolución de la temperatura exterior para estos dos días del año se obtienen las siguientes representaciones:

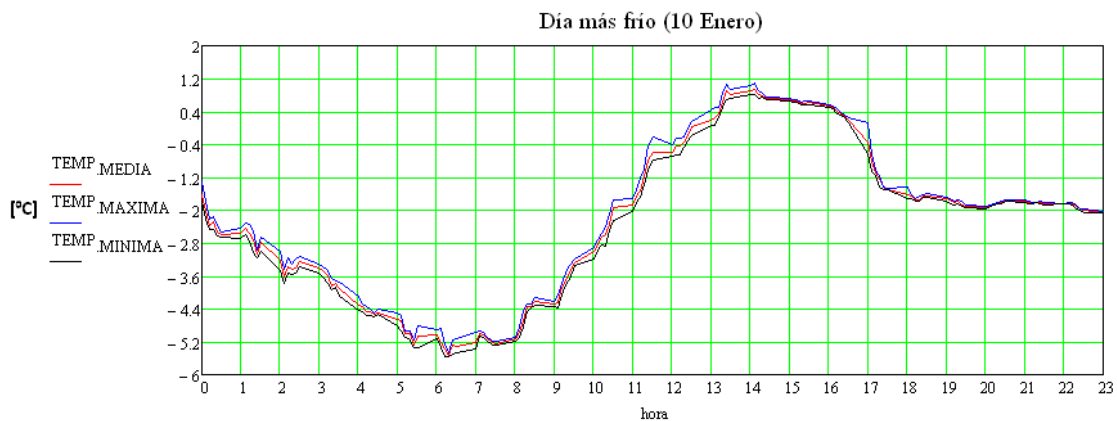


Figura 19. Evolución de la temperatura exterior para el día más frío

De la imagen anterior pueden extraerse los siguientes datos:

$$T_{\text{máxima}} = 1,09 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{media}} = -2,26 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{mínima}} = -5,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

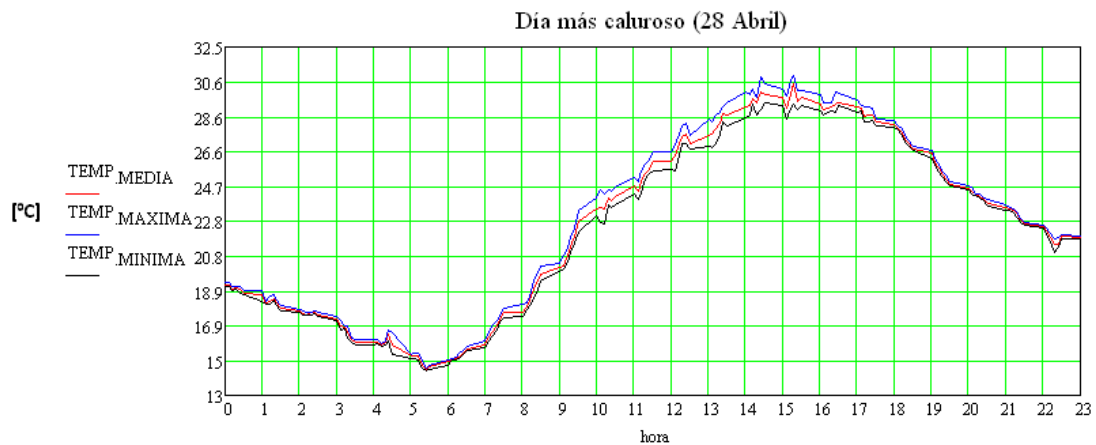


Figura 20. Evolución de la temperatura exterior para el día más caluroso

En el día más caluroso se han obtenido los siguientes datos de temperatura:

$$T_{\text{máxima}} = 30,93^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{media}} = 22,45^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{mínima}} = 14,4^{\circ}\text{C}$$

Para concluir el estudio de la evolución de la temperatura exterior se escoge un día de temperatura intermedia dentro de la temporada de calefacción. El día elegido es el 15 de Marzo (i=135).

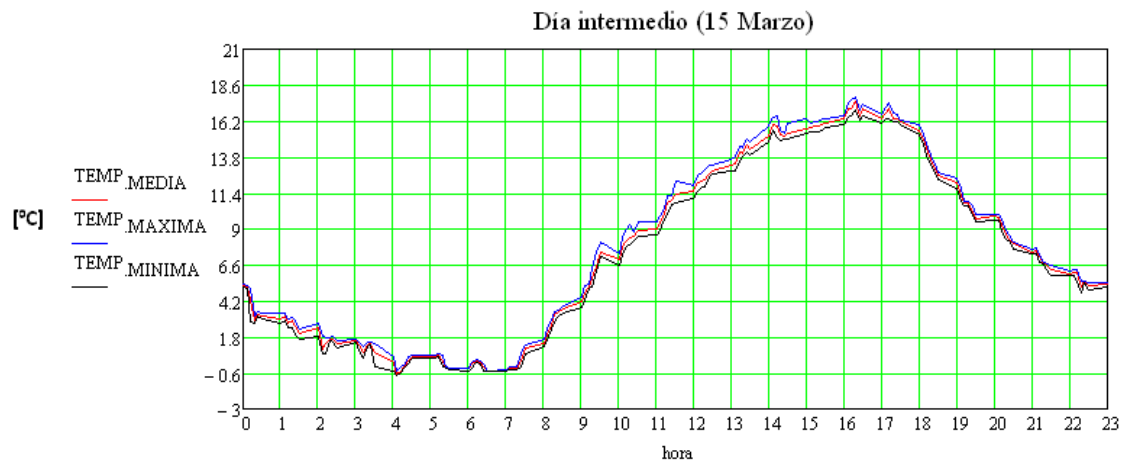


Figura 21. Evolución de la temperatura exterior para un día intermedio

El 15 de Marzo presenta las siguientes temperaturas características:

$$T_{\text{máxima}} = 17,84^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{media}} = 7,44^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{mínima}} = -0,786^{\circ}\text{C}$$

4.2 EVOLUCIÓN DE LA CARGA TÉRMICA

A continuación se estudiará la carga térmica de la vivienda para las temperaturas exteriores dadas durante la temporada de calefacción. Con ello se determinará la demanda de calefacción, en kWh, que se representará más adelante.

Las fórmulas empleadas para las representaciones gráficas en este punto son idénticas a las que se utilizaron en el apartado 2.3 de este proyecto. Cabe destacar que se tendrán en cuenta en dicho cálculo el efecto de la carga de inercia térmica, así como el de las cargas internas de la vivienda, debidas a la iluminación, equipos o personas presentes en la vivienda, del mismo modo que se hizo en dicho apartado.

A continuación se representa la evolución de la carga térmica para los días más representativos del año, como se vio anteriormente para el caso de las temperaturas exteriores. Los gráficos representados corresponden con el horario de funcionamiento del sistema de calefacción, fijado de las 7 a las 20 horas.

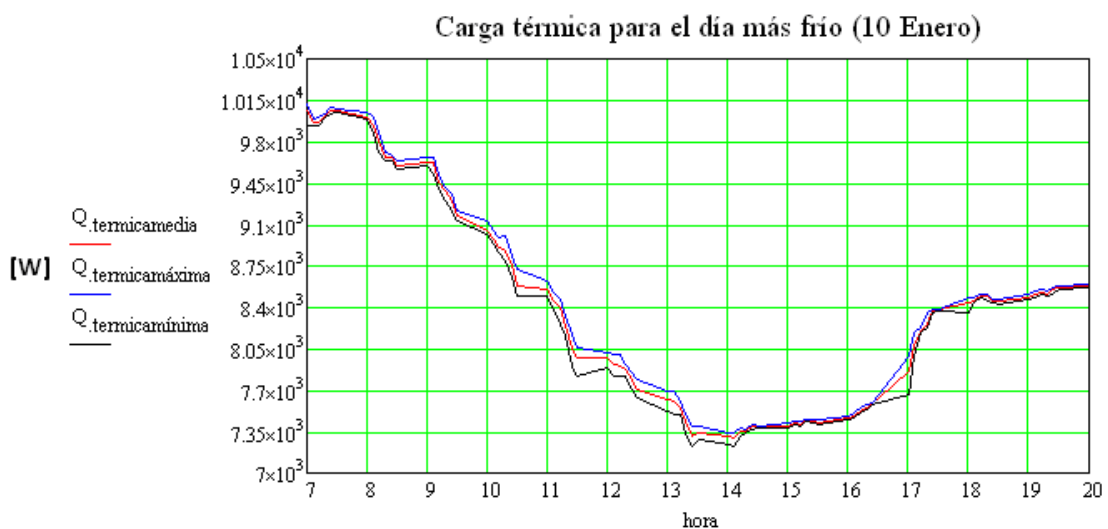


Figura 22. Evolución de la carga térmica para el día más frío

Puede verse como la carga térmica mínima se produce aproximadamente a la mitad del intervalo de funcionamiento de la calefacción, con un valor de 7,2 kW, debido a las mayores temperaturas presentes al mediodía.

Por el contrario la carga térmica máxima, con un valor de 10 kW, se produce al inicio del funcionamiento del sistema, alrededor de las 7 h.

Observando el periodo de funcionamiento de la bomba de calor, de 07:00 a 20:00 horas puede verse, como era de esperar, como la evolución de la carga térmica para el 10 de Enero presenta un comportamiento opuesto al de la temperatura exterior para ese día, *Figura 19*.



Figura 23. Evolución de la carga térmica para el día más caluroso

Del anterior gráfico se observa que durante la mayor parte del intervalo horario de operación del sistema de calefacción no existe carga térmica, por tanto no es necesario su funcionamiento en ese día.

Existe carga térmica para la primera media hora del periodo de operación, *Figura 23*, sin embargo es poco significativa y pronto desaparece, por lo que no sería necesario poner en funcionamiento el sistema de calefacción en este intervalo.

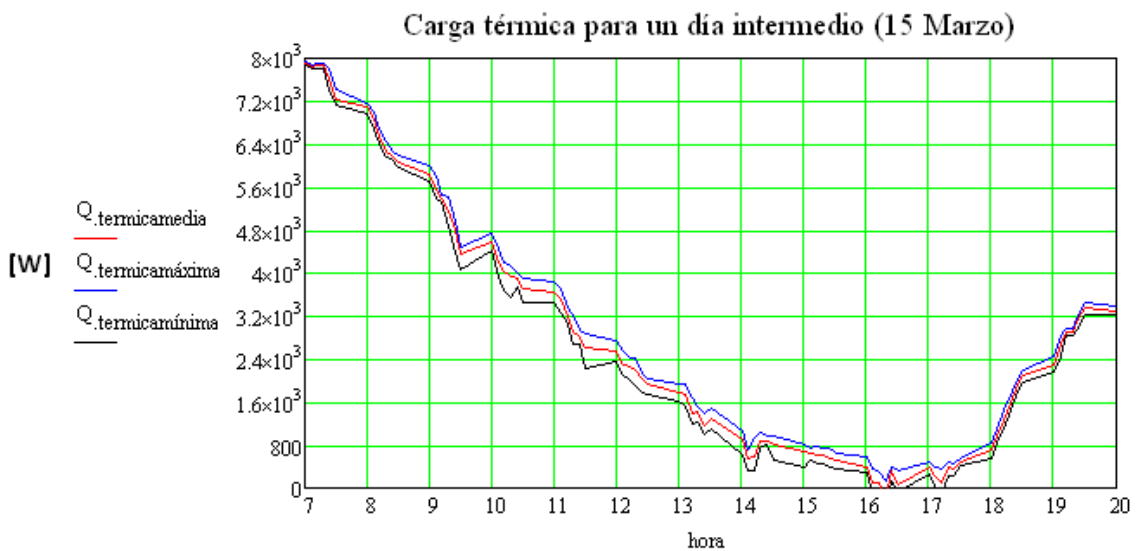


Figura 24. Evolución de la carga térmica para un día intermedio

La carga térmica máxima para este día se produce entre las 7:00 y las 7:30 horas, con un valor aproximado de 7,8 kW. Por su parte la carga térmica mínima se produce entre las 16:00 y las 17:00 horas, alcanzando incluso un valor nulo en este periodo.

Para concluir el estudio en este apartado se representa la demanda de calefacción en kWh para toda la temporada.

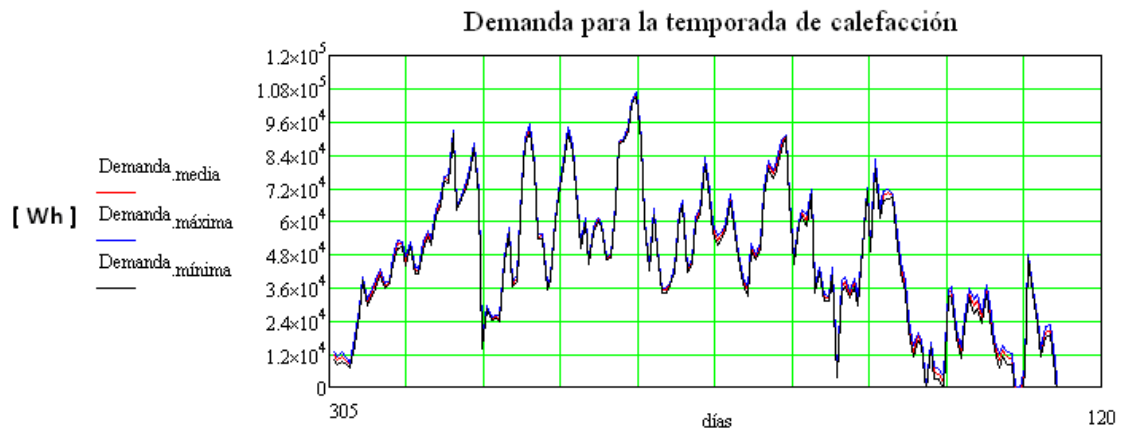


Figura 25. Evolución de la demanda de calefacción a lo largo de la temporada de calefacción

Como puede verse en la gráfica anterior la máxima demanda de calefacción se produce para el día más frío, con un valor de aproximadamente 108 kWh.

La demanda total de calefacción para la temporada es de 7725 kWh, siendo la demanda media diaria de unos 42,68 kWh.

4.3 EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA BOMBA DE CALOR

En este punto se estudia el comportamiento de los parámetros de la bomba de calor para el periodo de calefacción. Dichos parámetros se representarán para el intervalo de funcionamiento del sistema, de 07:00 a 20:00 horas.

4.3.1 POTENCIA DEL EVAPORADOR

A continuación se estudiará la evolución de la potencia del evaporador para los días más representativos del año, como se vio en los apartados anteriores para el caso de las temperaturas exteriores y la carga térmica.

La siguiente imagen, *Figura 26*, representa la evolución de este parámetro para el día más frío del año, donde puede verse como la potencia máxima del evaporador se alcanza al poner en marcha el sistema, con un valor aproximado de 6,95 kW.



Figura 26. Evolución de la potencia del evaporador para el día más frío



Figura 27. Evolución de la potencia del evaporador para el día más caluroso

Como se puede observar en la *Figura 27* no es necesario el funcionamiento de la bomba de calor en ese día, 28 de Abril.

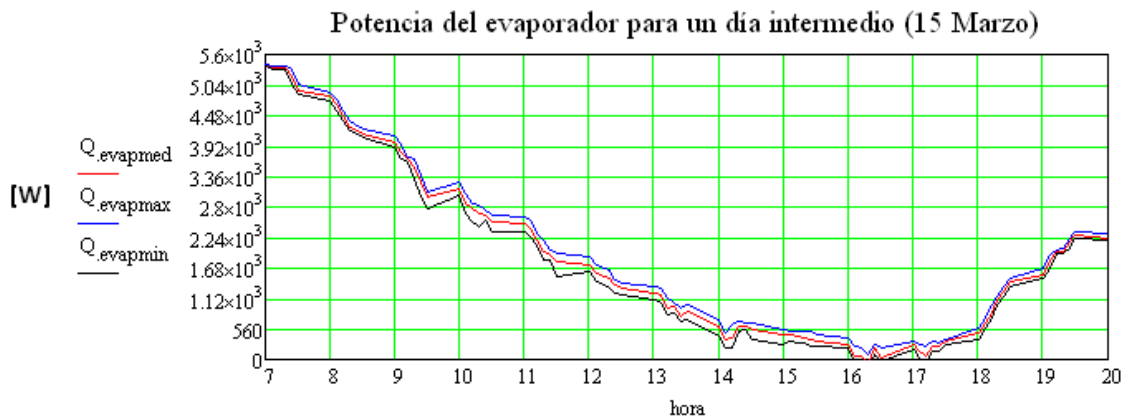


Figura 28. Evolución de la potencia del evaporador para un día intermedio

Para el comportamiento del evaporador en un día intermedio, *Figura 28*, cabe destacar que la potencia máxima se produce entre las 7:00 y las 7:30 horas, al inicio del intervalo de operación de la bomba de calor. Por su parte, el valor mínimo para la potencia media del evaporador se encuentra alrededor de las 16:00 horas, con un valor próximo a los 100 W.

4.3.2 POTENCIA DEL CONDENSADOR

Del mismo modo que para los parámetros descritos anteriormente, se representará en los siguientes gráficos la potencia del condensador para el día más frío, más caluroso y para un día intermedio.



Figura 29. Evolución de la potencia del condensador para el día más frío

Del gráfico para el día más frío, *Figura 29*, se puede observar como la potencia media del condensador para este día tiene un valor aproximado de 8,6 kW.



Figura 30. Evolución de la potencia del condensador para el día más caluroso

Vuelve a ponerse de manifiesto en la *Figura 30* que no es necesario el empleo de la bomba de calor en este día. El máximo valor para la potencia del condensador, 675 W, se produce al comienzo del día, a las 7:00 horas.

Por su parte, para un día intermedio las variaciones más significativas ocurren al mediodía, con un descenso de la potencia del condensador debido a las mayores temperaturas exteriores. Esto puede verse en la siguiente representación:



Figura 31. Evolución de la potencia del condensador para un día intermedio

Se aprecia como al final del periodo de calefacción la potencia del condensador parece estabilizarse, con un valor de 3,28 kW.

4.3.3 POTENCIA DEL COMPRESOR

En este punto se representará la evolución de la potencia eléctrica del compresor de la bomba de calor, detallando las gráficas para los días más representativos del periodo de calefacción.

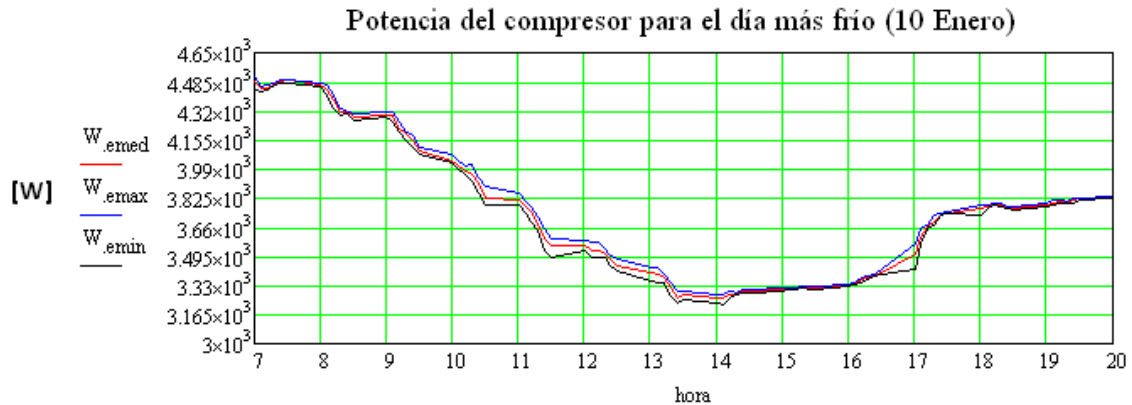


Figura 32. Evolución de la potencia del compresor para el día más frío

Debido a las bajas temperaturas exteriores los valores máximos para la potencia del compresor se encuentran en las primeras horas de la mañana.

Como se observó en las gráficas para los anteriores parámetros, no será necesario el funcionamiento de la bomba de calor para el día más caluroso. Por ello, el compresor no trabajará durante este día. Este hecho puede verse representado en la siguiente imagen.



Figura 33. Evolución de la potencia del compresor para el día más caluroso

En el siguiente gráfico, *Figura 34*, puede verse la evolución de la potencia eléctrica del compresor para un día intermedio. Como ocurrió durante el estudio de los anteriores parámetros de funcionamiento de la bomba de calor, los valores máximos para este día se producirán al principio del mismo, y los mínimos al mediodía.

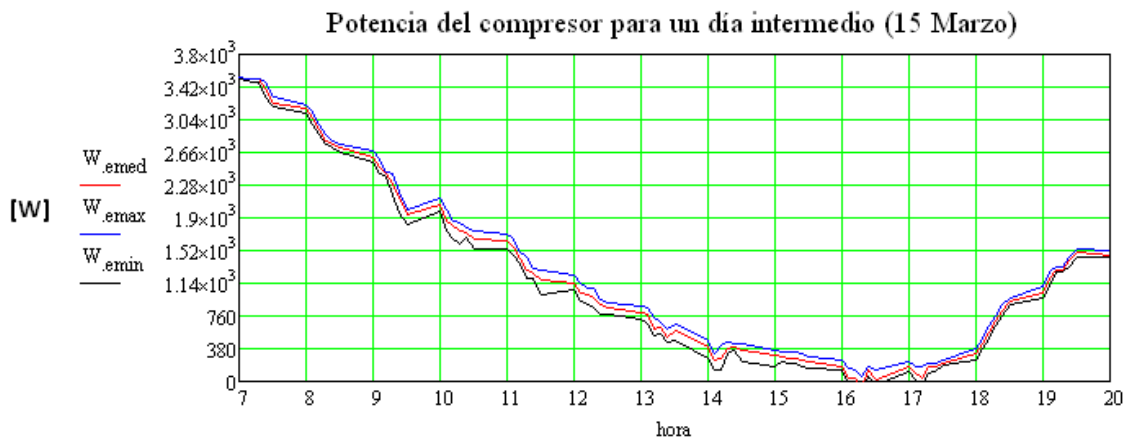


Figura 34. Evolución de la potencia del compresor para un día intermedio

Se observan variaciones significativas entre los valores máximos, mínimos y medios de la potencia del compresor, en función de la temperatura exterior para este día.

Para concluir el estudio de la potencia eléctrica del compresor, el siguiente gráfico muestra la demanda de este parámetro en kWh, desde el día 1 de Noviembre hasta el 30 de Abril, constituyendo un año de funcionamiento del sistema de calefacción.

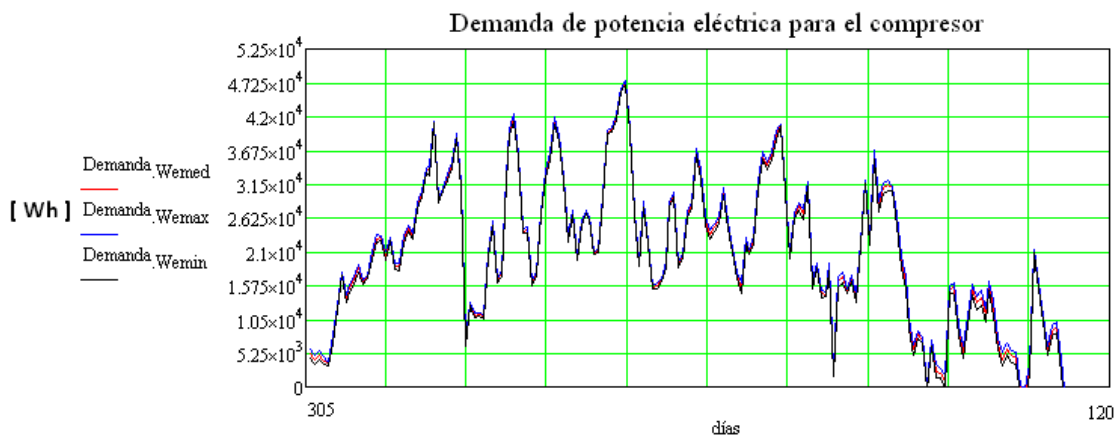


Figura 35. Evolución de la demanda para la potencia eléctrica del compresor

La demanda total de potencia eléctrica en el compresor para la temporada es de 3448 kWh_e, siendo la demanda media diaria de unos 19,05 kWh_e.

De la imagen se observa como la máxima demanda de potencia se produce para el día más frío, 10 de Enero, con un valor de 4,75 kWh_e.

4.3.4 POTENCIA DE LOS VENTILADORES

A continuación se representará la evolución de la potencia de los ventiladores del evaporador y del condensador de la bomba de calor. Los gráficos representados corresponderán al día más frío y a un día intermedio de la temporada de calefacción, puesto que para el día más caluroso no es necesario el funcionamiento del sistema.

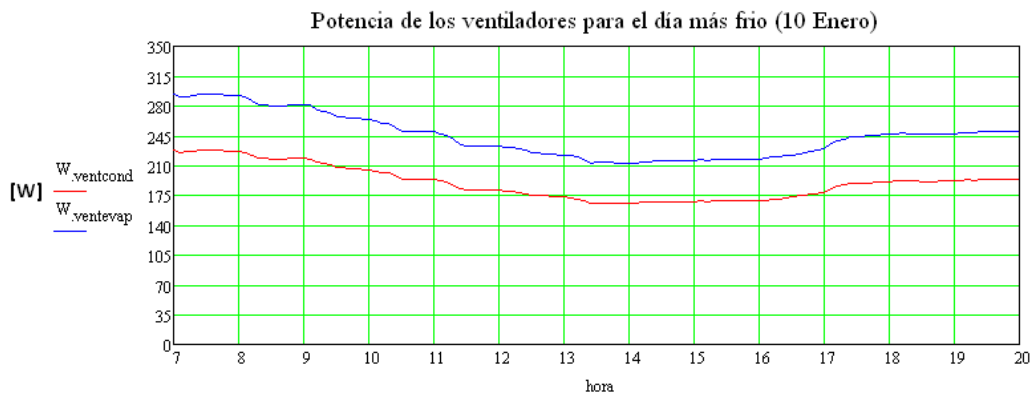


Figura 36. Evolución de la potencia de los ventiladores para el día más frío

Se observa como los valores máximos de potencia para el evaporador y el condensador se encuentran al inicio del periodo de funcionamiento de la calefacción, siendo estos muy próximos a los valores de diseño calculados en el apartado 3.2 de este proyecto.



Figura 37. Evolución de la potencia de los ventiladores para un día intermedio

Puede verse como la menor potencia en los ventiladores corresponde con las temperaturas exteriores más elevadas, entre las 16:00 y las 17:00 horas.

A continuación se representa la demanda de potencia en los ventiladores de la bomba de calor para la temporada de calefacción, *Figura 38*.

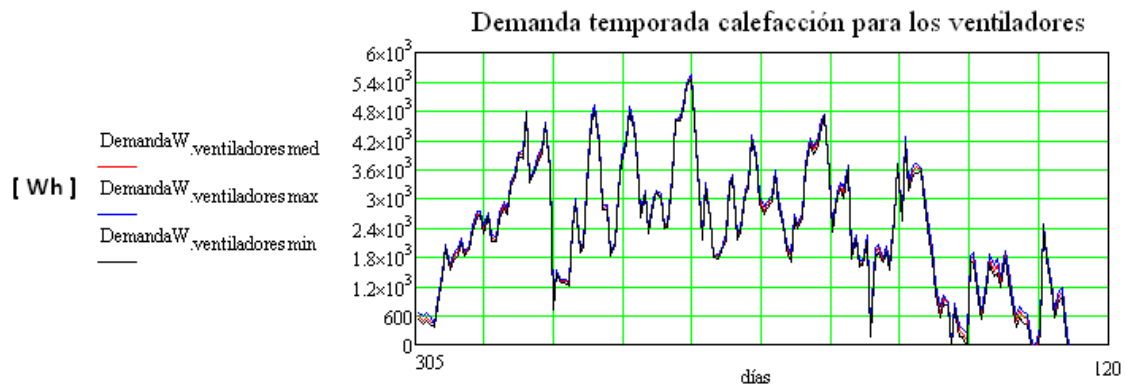


Figura 38. Evolución de la demanda para la potencia de los ventiladores

Considerando un intervalo horario de funcionamiento de 13 horas diarias se obtiene la demanda total de potencia en los ventiladores para la temporada de calefacción, con un valor de 400,3 kWh_e al año.

Una vez representada la demanda de potencia eléctrica para el compresor y los ventiladores de la bomba de calor, y para concluir el estudio, se muestra a continuación la evolución de la demanda total de potencia eléctrica en la bomba de calor.

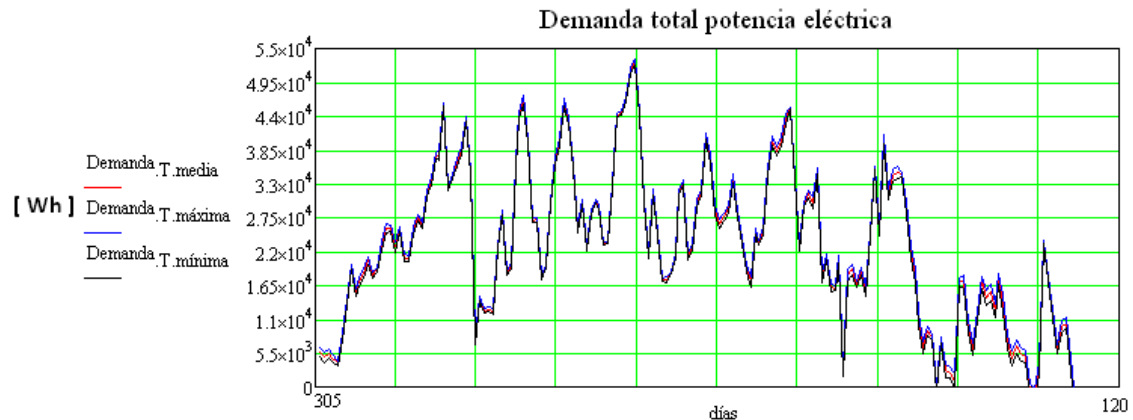


Figura 39. Evolución de la demanda de potencia eléctrica para la temporada de calefacción

Teniendo en cuenta tanto el compresor como los ventiladores, la demanda total de potencia eléctrica total en la instalación para un año de funcionamiento del sistema es de 3848 kWh_e, siendo la potencia media demandada en este periodo de 21,26 kWh_e.

4.3.5 COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (COP)

En este punto se estudiará la variación del coeficiente de eficiencia energética para los días más representativos del año, como se ha hecho con el resto de parámetros anteriormente. Se mostrarán las gráficas del COP eléctrico (COPe).

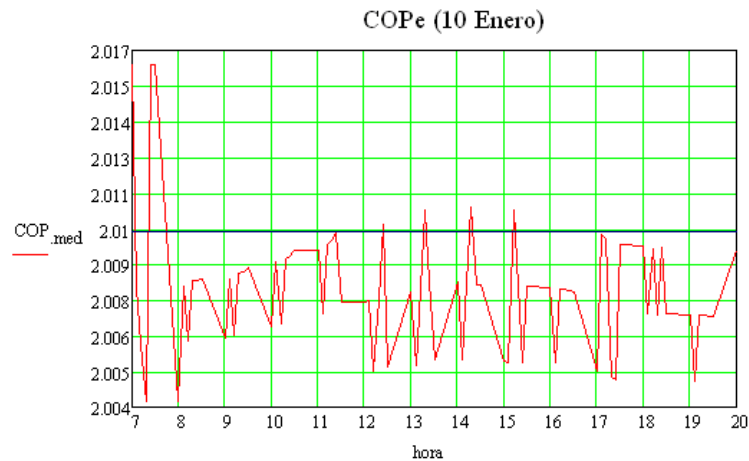


Figura 40. Evolución del COP eléctrico para el día más frío

Puede verse como el mayor COP se obtiene al principio del periodo de funcionamiento del sistema de calefacción, siendo el valor medio para este día de aproximadamente 2,01, marcado por una línea horizontal azul en la imagen.

No existe coeficiente de eficiencia energética para el día más caluroso, puesto que el sistema no funciona en este día. En la siguiente gráfica se muestra la evolución del COP eléctrico para un día intermedio dentro de la temporada de calefacción.

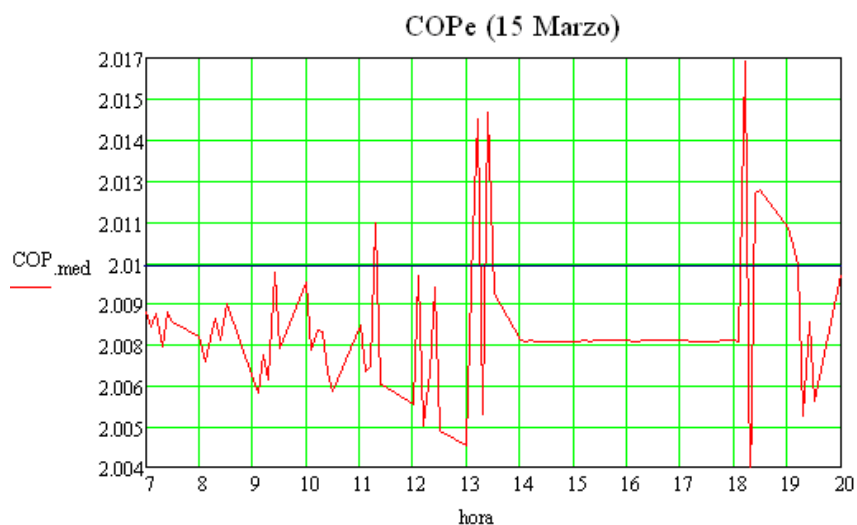


Figura 41. Evolución del COP eléctrico para un día intermedio

Se observa del gráfico anterior como el valor medio diario del COP señalado mediante una línea horizontal de color azul posee un valor de 2,01.

Por último se representa la evolución del COP a lo largo de toda la temporada de calefacción, COP anual, donde las líneas horizontales marcadas en las *Figuras 40 y 41* determinan el valor del COP para ese día dentro de la evolución anual, como puede verse en la siguiente imagen:

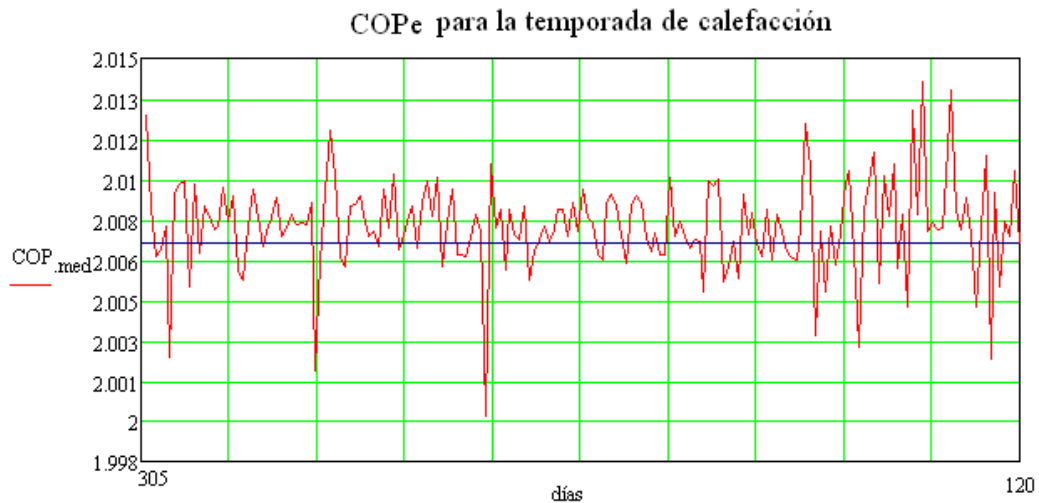


Figura 42. Evolución del COP eléctrico para la temporada de calefacción

Se observa como el valor del COP, marcado mediante una línea horizontal de color azul determina el valor del COP estacional para la temporada de calefacción, con un valor de 2,007.

Cabe destacar que a lo largo de la simulación no se ha tenido en cuenta el efecto de la formación de hielo sobre la superficie del evaporador de la bomba de calor. Este hecho hubiera provocado las paradas de la instalación para el descarchado y con ello la reducción del COP estacional.

5. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

En este apartado se realiza un estudio del impacto ambiental debido al funcionamiento de la bomba de calor a lo largo de un año. De este análisis se pretenden extraer conclusiones acerca de las consecuencias medioambientales debido a las emisiones de contaminantes de la instalación.

Los gases emitidos por el sistema serán distintos en función del refrigerante empleado. En este proyecto se ha utilizado como refrigerante para la bomba de calor el denominado R-410a. Englobado en los refrigerantes de nueva generación se caracteriza por no tener cloro en su composición química, además de ser uno de los sustitutos del R22, no siendo dañino para la capa de ozono.

La principal causa del impacto medioambiental será por tanto la emisión de CO₂ a la atmósfera. El aumento excesivo de este gas al ser lanzado artificialmente a la atmósfera, en grandes cantidades, aunque no tiene un efecto inmediato sobre el medio ambiente, colabora aumentando el conocido Efecto Invernadero. Este hecho hace que se altere el equilibrio térmico, contribuyendo al calentamiento global de la superficie terrestre.

Para realizar el estudio del impacto ambiental se tendrán en cuenta tanto las emisiones de CO₂ directas, causas directamente por el refrigerante empleado en la instalación, como las emisiones indirectas, generadas por el funcionamiento de la instalación. Denominadas Potencial de Efecto Invernadero Directo (PEID) e Indirecto (PEII) respectivamente. Este último procede del CO₂ que se genera al quemar el combustible necesario para obtener la electricidad que pone en marcha el sistema durante su vida útil.

Otro aspecto a destacar en el estudio es el efecto acústico, la presión sonora de la instalación provocada por el funcionamiento de la bomba de calor como consecuencia de los diferentes elementos móviles de la máquina. Este hecho si tiene un efecto inmediato sobre las personas, siendo sensibles al ruido que pueda ser emitido por el sistema.

El impacto acústico no será sometido a estudio, sin embargo en el *Anexo II* del proyecto se muestran una serie de especificaciones acerca de la presión sonora de los equipos seleccionados para la instalación de calefacción, tanto para las unidades interiores como para la exterior.

Cabe destacar, para concluir, que al tratarse de una bomba de calor aire-aire la instalación no contribuye al efecto de formación de legionella, como puede ocurrir en sistemas de producción de agua caliente sanitaria (A.C.S). Los siguientes apartados permitirán extraer una conclusión acerca de la cantidad de CO₂ emitida por la instalación, siendo el principal contaminante emitido por la bomba de calor.

5.1 POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO (PEID)

En este punto se realizará el cálculo de la cantidad de CO₂ que se emitirá a la atmósfera de forma directa, debido al refrigerante empleado en la instalación, R-410a. Se determinará mediante el empleo de la siguiente expresión:

$$PEID = (peid) \cdot f \cdot C_R \cdot N$$

Siendo:

- (peid) el Potencial de Efecto Invernadero del refrigerante por unidad de masa. Para el refrigerante empleado en el proyecto es de 3500 Kg equivalentes de CO₂ / Kg de refrigerante.
- f (%/año) el porcentaje de refrigerante que anualmente se fuga de la instalación.
- C_R la carga de refrigerante que hay en la instalación. (Kg_{Refrigerante})
- N el número de años de funcionamiento de la instalación. (vida)

Considerando un valor para el factor de fugas, tratándose de una instalación pequeña, para una vivienda, de f= 15 %.

Para el compresor empleado en el proyecto, de pequeño tamaño, se toma como aproximación introducir 1 Kg de refrigerante por cada kW, por lo que se define la carga de refrigerante para una instalación pequeña como:

$$C_R = 1 \frac{Kg_{refrigerante}}{KW} \cdot W_{comp} = 1 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ Kg}_{refrigerante}$$

Por tanto, la cantidad de CO₂ equivalente emitida de forma directa en un año:

$$PEID = (peid) \cdot f \cdot C_R \cdot N = (3500) \cdot 0,15 \cdot 2,5 \cdot 1 = 1312,5 \text{ Kg equivalentes CO}_2$$

$$\boxed{PEID (1 \text{ año}) = 1312,5 \text{ Kg equivalentes CO}_2}$$

Suponiendo una vida media para la instalación de 20 años, la cantidad de gas emitido en este periodo será de:

$$PEID = (peid) \cdot f \cdot C_R \cdot N = (3500) \cdot 0,15 \cdot 2,5 \cdot 20 = 26250 \text{ Kg CO}_2$$

Cabe destacar que debido al 15% de refrigerante que se ha supuesto que anualmente se fuga de la instalación, si se considera una vida media de la misma de 20 años, deberán hacerse tres recargas del refrigerante antes de que la instalación no sirva. Por tanto el PEID que se obtiene es:

$$\boxed{PEID (20 \text{ años}) = 26250 \cdot 3 = 78750 \text{ KgCO}_2 = 78,75 \text{ toneladas equivalentes de CO}_2}$$

5.2 POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO INDIRECTO (PEII)

De manera indirecta, la bomba de calor emitirá una cierta cantidad de dióxido de carbono a la atmósfera, producido al quemar el combustible fósil necesario para generar la electricidad que consume la instalación de compresión mecánica.

Este potencial se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PEII = (peii) \cdot (W_{comp} + W_{equipos\ auxiliares}) \cdot n \cdot N$$

Siendo:

- (peii) la masa de CO₂ vertida a la atmósfera por kWh producido (KgCO₂/kWh_e).
- W_{comp} la potencia del compresor (kW).
- W_{equipos auxiliares} la potencia de los ventiladores del compresor y del evaporador (kW).
- n las horas de funcionamiento de la instalación
- N el número de años de funcionamiento de la instalación

Sin embargo, conocidos los parámetros de la bomba de calor, de apartados anteriores, así como su funcionamiento a lo largo del periodo de calefacción, del 1 de Noviembre al 30 de Abril, durante 181 días, el PEII se calculará mediante la simulación en el programa Matchad.

Para llevar a cabo esta simulación y determinar las emisiones producidas de forma indirecta por el consumo de electricidad será necesario definir un ratio medio de emisiones de dióxido de carbono, CO₂, por cada kilowatio hora eléctrico (kWh_e).

Contaminante	Kg/kWh_e
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,411

Tabla 26. Valor de emisiones de CO₂ producidas debido al consumo de electricidad

El accionamiento del compresor y los ventiladores de la instalación llevará asociada una emisión de CO₂, por lo que el estudio se dividirá para ambos presentando los resultados obtenidos como se detalla a continuación.

Compresor

Con el fin de conocer la masa de CO₂ emitida a la atmósfera por el funcionamiento del compresor en la instalación para la temporada de calefacción, es necesario conocer en primer lugar la demanda en kWh_e para este periodo. Por ello se calculó en el apartado de simulación dicha evolución de la demanda, *Figura 35*, donde se consideró, al igual que en el apartado 4 de este proyecto, un horario de funcionamiento del sistema diario de 13 horas, comprendidas de 7:00 h a 20:00 h.

Por tanto conocida la evolución de la demanda de potencia eléctrica en el compresor, de la representación mencionada, *Figura 35*, aplicando el valor de emisiones de CO₂ debido al consumo de electricidad, *Tabla 26*, se obtiene la evolución de la cantidad de dicho gas emitido para cada uno de los días del periodo de calefacción.

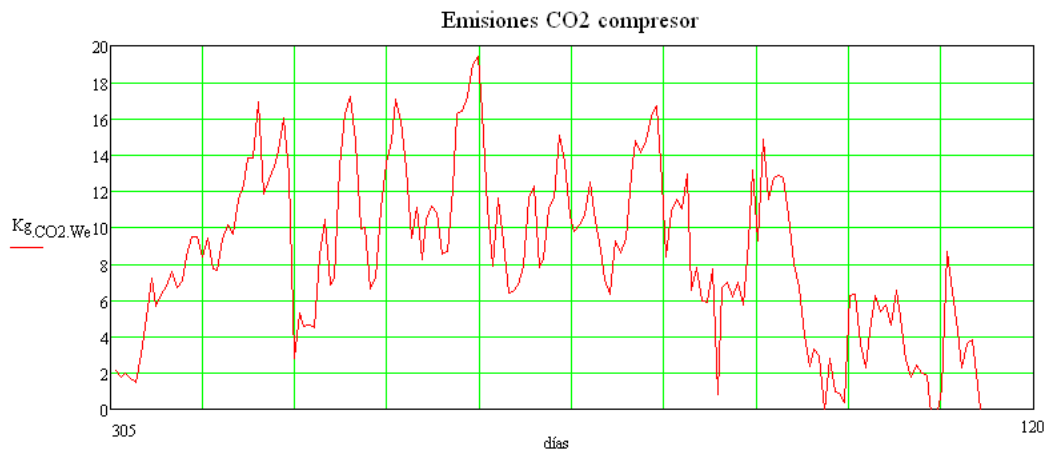


Figura 43. Evolución de la masa de CO₂ emitido debido al funcionamiento del compresor

De la imagen puede verse como para el día más frío el compresor emite de forma indirecta, debido al consumo de potencia eléctrica, aproximadamente unos 19,4 Kg de CO₂.

La cantidad total de emisiones de CO₂ al año para toda la temporada es de 1417 Kg de CO₂, siendo la media de emisiones en este periodo de unos 7,83 Kg de CO₂ diarios producidos por el compresor.

Ventiladores del evaporador y del condensador

Del mismo modo que para el compresor, es necesario conocer en este punto la demanda en kWh_e para el periodo de calefacción en los equipos auxiliares, ventiladores de la bomba de calor. La evolución de dicha demanda se encuentra representada en la *Figura 38*.

Por tanto, una vez que se conoce la evolución de la demanda de potencia eléctrica en los ventiladores de la instalación, del mismo modo que para el compresor, aplicando un valor 0,411 KgCO₂/kWh_e, *Tabla 26*, se obtiene la evolución de la cantidad de CO₂ emitido por los ventiladores del sistema, para cada uno de los días de la temporada de calefacción. La siguiente imagen, *Figura 44*, muestra dicha representación.

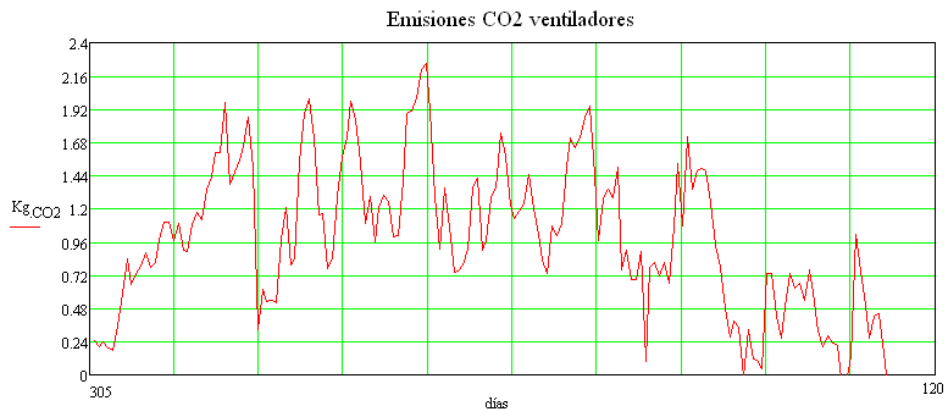


Figura 44. Evolución de la masa de CO₂ emitido por los ventiladores

La cantidad total de CO₂ emitido debido al funcionamiento de los ventiladores del evaporador y del condensador al año, para toda la temporada, es de 164,52 Kg de CO₂, siendo la media de emisiones en este periodo de unos 0,91 Kg de CO₂ diarios producidos por los ventiladores.

Potencial de Efecto Invernadero Indirecto anual (PEII)

En este punto se realiza la suma de emisiones de ambas contribuciones, debidas al compresor y a los ventiladores de la instalación. Es necesario para ello emplear la representación de la demanda total de potencia eléctrica en el sistema, calculada con anterioridad, *Figura 39*.

Realizando el cálculo de las emisiones de CO₂ totales para un año de funcionamiento, se obtiene la siguiente evolución de la cantidad de dicho gas emitido:

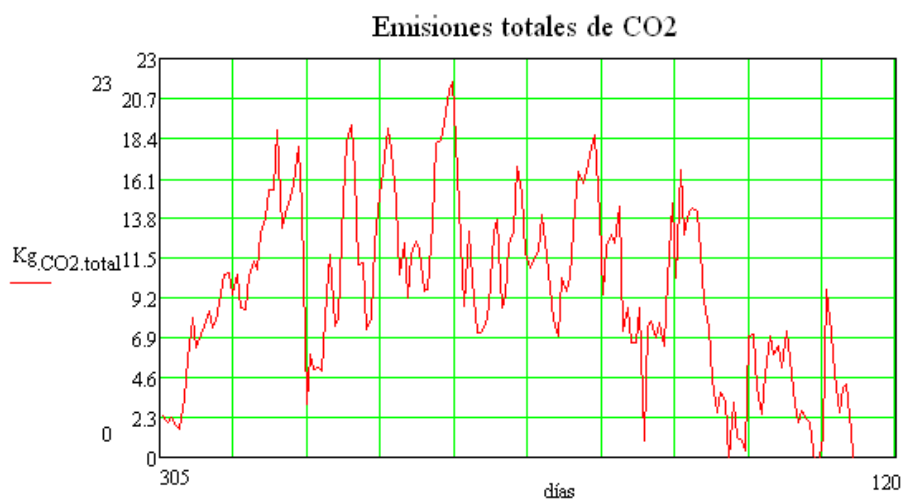


Figura 45. Evolución de la masa total de CO₂ emitido

Empleando la anterior gráfica puede determinarse la cantidad total de CO₂ emitido indirectamente a la atmósfera debido al funcionamiento de la instalación durante un año, siendo este valor de 1581 Kg de CO₂. El valor medio diario de emisiones en este periodo es de unos 8,73 Kg de CO₂.

Por tanto, puede concluirse el estudio del Potencial de Efecto Invernadero Indirecto (PEII) diciendo que se emiten indirectamente debido al funcionamiento de la bomba de calor 1581 Kg de CO₂ al año.

$$\boxed{PEII (1 \text{ año}) = 1581 \text{ Kg CO}_2}$$

Considerando al igual que en el apartado 5.1, una vida media para la instalación de unos 20 años, el PEII que se obtiene es:

$$\boxed{PEII (20 \text{ años}) = 31620 \text{ Kg Co}_2 = 31,6 \text{ toneladas de CO}_2}$$

5.3 POTENCIAL TOTAL DE CALENTAMIENTO (PTC)

En este punto se determina la cantidad total de dióxido de carbono emitido a la atmósfera debido al funcionamiento de la bomba de calor de la vivienda estudiada a lo largo del proyecto.

Una vez determinados los potenciales de efecto invernadero, el Potencial Total de Calentamiento se define como:

$$PTC = PEID + PEII$$

Con los datos calculados para un año de funcionamiento de la instalación de calefacción:

$$PTC (1 \text{ año}) = PEID (1 \text{ año}) + PEII (1 \text{ año}) = 1312,5 + 1581 = 2893,5 \text{ KgCO}_2$$

$$\boxed{PTC (1 \text{ año}) = 2893,5 \text{ Kg CO}_2}$$

Considerando la vida media de la instalación, supuestos 20 años de funcionamiento:

$$PTC (20 \text{ años}) = PEID (20 \text{ años}) + PEII (20 \text{ años}) = 78750 + 31620 = 110370 \text{ KgCO}_2$$

$$\boxed{PTC (20 \text{ años}) = 110370 \text{ Kg Co}_2 = 110,3 \text{ toneladas de CO}_2}$$

6. COMPARACIÓN DE UNA CALDERA (GAS O GASOIL) CON LA BOMBA DE CALOR

Una vez concluido el estudio de la bomba de calor para la aplicación de calefacción, se realiza en este apartado una comparación respecto a los sistemas tradicionales de calefacción en una vivienda.

Mediante la simulación del funcionamiento de la bomba de calor se han obtenido las demandas necesarias tanto de calefacción como de potencia eléctrica para la temporada de operación del sistema a lo largo de un año. Estos datos serán la base para realizar la comparación entre los distintos sistemas de calefacción, y se muestran resumidos en la siguiente tabla, *Tabla 27*.

<i>Demanda calefacción</i>	7725 kWh
<i>Demanda potencia eléctrica</i>	3848 kWh _e

Tabla 27. Demandas del sistema de calefacción para una temporada

Junto a estos valores serán necesarios introducir datos referentes a las distintas alternativas como sistema de calefacción que aparecerán en el estudio comparativo. En este proyecto se realizará la comparación de la bomba de calor seleccionada respecto a dos calderas, una de gas y otra cuyo combustible es el gasoil.

Se resumen a continuación algunas de las características básicas de los sistemas de calefacción empleados en este apartado:

	<i>Caldera de gas</i>	<i>Caldera de gasoil</i>
<i>Combustible</i>	Gas Natural	Gasóleo C
<i>Rendimiento</i>	85%	75%

Tabla 28. Características básicas de los sistemas de calefacción convencionales

Se realizará el cálculo independiente de ambos sistemas, debido a los distintos combustibles y rendimientos que presentan cada uno de ellos en su funcionamiento. Para ello serán necesarios también datos acerca de las características propias de los combustibles, precio o cantidad de emisiones de CO₂ por kWh, que se detallarán más adelante.

El objetivo por tanto es obtener resultados, de la comparación descrita, acerca de cual de los sistemas de calefacción es la mejor solución para la vivienda estudiada, teniendo en cuenta el coste inicial del sistema así como el coste anual de la energía consumida por el mismo. Además de esto se extraerán conclusiones acerca de la cantidad de emisiones de CO₂ que cada sistema produce en su funcionamiento.

6.1 COSTE POR CONSUMO DE ENERGÍA

En este punto se realiza el cálculo del coste que supone el consumo de energía en cada uno de los sistemas de calefacción para satisfacer la demanda de calefacción de la vivienda.

Bomba de calor

En primer lugar se realiza el estudio para la bomba de calor con el fin de comparar los resultados obtenidos con los que se calcularán a continuación para los sistemas tradicionales de calefacción, caldera de gas y gasoil.

En el *Anexo III* de este proyecto puede verse una factura real de consumo de electricidad en una vivienda, que servirá como base para realizar el cálculo del precio de la electricidad por kWh_e consumido.

Atendiendo al consumo reflejado en dicha factura y al precio final de la misma, sin tener en cuenta los precios detallados por servicio se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{Consumo} &= 268 \text{ kWh}_e \\ \text{Importe total} &= 56,05 \text{ €} \end{aligned}$$

Por tanto, el coste de la energía será:

$$\text{Coste} = \frac{56,05 \text{ €}}{268 \text{ kWh}_e} = 0,2091 \frac{\text{€}}{\text{kWh}_e}$$

Empleando el valor reflejado anteriormente para la demanda de potencia eléctrica, *Tabla 27*, el precio debido al coste de la energía para la temporada de calefacción será:

$$\begin{aligned} \text{Demanda potencia eléctrica} &= 3848 \text{ kWh}_e \\ \text{Precio} &= \text{Demanda potencia eléctrica} \cdot \text{Coste} = 3848 \cdot 0,2091 = 804,62 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\textbf{Precio= 804,62 €}$$

Este precio corresponde al consumo de electricidad por parte de la bomba de calor para garantizar las condiciones de confort en el interior de la vivienda para el intervalo de funcionamiento descrito, temporada de calefacción.

Caldera de gas

Del mismo modo que para el caso de la bomba de calor, se detallan los cálculos para una temporada de funcionamiento del sistema de calefacción que emplea como combustible el Gas Natural.

Empleando la factura relativa al consumo de gas de una vivienda, presente en el *Anexo III* de este proyecto, se toman los conceptos característicos presentes en la misma para calcular el precio de la energía, Gas Natural.

Se muestran a continuación los valores más representativos que permitirán el cálculo del coste de la energía:

$$\begin{aligned} \text{Consumo} &= 1873 \text{ kWh} \\ \text{Importe total} &= 129,27 \text{ €} \end{aligned}$$

Con lo que el coste de la energía será:

$$\text{Coste} = \frac{129,27 \text{ €}}{1873 \text{ kWh}} = 0,069 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Una vez calculado el coste, es necesario conocer la demanda de calefacción real que ha de satisfacerse en la vivienda para el periodo de funcionamiento de la caldera de gas. Esta demanda se calculará, teniendo en cuenta el rendimiento de dicha caldera y la demanda de calefacción, *Tablas 27 y 28* respectivamente, de la siguiente forma:

$$\left. \begin{aligned} \text{Demanda calefacción} &= 7725 \text{ kWh} \\ \eta_{\text{caldera gas}} &= 0,85 \% \end{aligned} \right\} \text{Demanda real} = \frac{7725}{0,85} = 9088,23 \text{ kWh}$$

Conocida la demanda real de calefacción, así como el coste, puede calcularse el precio final para el periodo de funcionamiento, del 1 de Noviembre al 30 de Abril:

$$\text{Precio} = \text{Demanda real} \cdot \text{Coste} = 9088,23 \cdot 0,069 = 627,08 \text{ €}$$

$$\textbf{Precio= 627,08 €}$$

Este será el precio debido al consumo de gas para satisfacer la demanda de calefacción.

Caldera de gasoil

Los cálculos relativos a la caldera cuyo combustible es el gasoil para una temporada de funcionamiento del sistema se detallan a continuación.

Para poder realizarlos resulta imprescindible conocer una serie de características acerca del combustible que permitirán calcular el coste de esta energía. Se resumen en la siguiente tabla:

Combustible: Gasóleo C	
<i>Densidad</i>	0,85 Kg/litro
<i>Poder Calorífico Inferior (PCI)</i>	10200 Kcal/Kg = 10,09 kWh/litro
<i>Precio del combustible</i>	1,023 €/litro

Tabla 29. Características del Gasóleo C

Con estos datos, se procede a calcular el precio de la energía por kWh consumido, de la siguiente forma:

$$\text{Coste} = \frac{\text{Precio Gasóleo C}}{\text{PCI}} = \frac{1,023 \text{ €/litro}}{10,09 \text{ kWh/litro}} = 0,1014 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Atendiendo al rendimiento propio de la caldera de gasoil, reflejado en la *Tabla 28*, puede calcularse la demanda real de calefacción para este sistema del siguiente modo:

$$\text{Demanda real} = \frac{\text{Demanda calefacción}}{\eta_{\text{caldera gasoil}}} = \frac{7725 \text{ kWh}}{0,75} = 10300 \text{ kWh}$$

Conocida la demanda real de calefacción, así como el coste de la energía en este punto, puede calcularse el precio final para la temporada de calefacción:

$$\text{Precio} = \text{Demanda real} \cdot \text{Coste} = 10300 \cdot 0,1014 = 1044,42 \text{ €}$$

Precio= 1044,42 €

Este precio corresponde al consumo de gasoil debido al funcionamiento de la caldera durante la temporada de calefacción.

6.2 POTENCIAL TOTAL DE CALENTAMIENTO (PTC)

La cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera dependerá del sistema de calefacción empleado, por ello se estudian tres alternativas en este punto.

Bomba de calor

Para este sistema se ha calculado con anterioridad, en el apartado de impacto ambiental, la cantidad de CO₂ emitido por la bomba de calor durante este periodo, que corresponderá con el valor del Potencial Total de Calentamiento (PTC):

$$\mathbf{PTC= 2893,5\ Kg\ CO_2}$$

Este valor de emisiones es para un año de funcionamiento de la bomba de calor y será comparado con el resto de sistemas a estudio, cuyos cálculos se detallan a continuación.

Caldera de gas

Para poder calcular la cantidad de CO₂ emitido debido al funcionamiento de la caldera de gas durante este periodo es necesario conocer las emisiones de CO₂ (Kg/kWh) para el combustible empleado:

Combustible	Emisiones de CO₂ (Kg/kWh combustible)
Gas Natural	0,22

Tabla 30. Emisiones de CO₂ para el Gas Natural

Una vez conocido este valor así como la demanda real del sistema, calculada anteriormente, es posible realizar el cálculo de la cantidad de emisiones de CO₂ de la siguiente forma:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Demanda real} = 9088,23 \text{ kWh} \\ \text{Emisión CO}_2 = 0,22 \text{ Kg / kWh} \end{array} \right\} \text{Cantidad CO}_2 = 9088,23 \cdot 0,22$$

La cantidad total de CO₂ emitido por la caldera de gas es:

$$\mathbf{PTC= 1999,41\ Kg\ CO_2}$$

Caldera de gasoil

La cantidad de CO₂ emitido por la caldera de gasoil debido al funcionamiento de la misma durante este periodo se calcula conociendo las emisiones de CO₂ (Kg/kWh) para el combustible empleado:

Combustible	Emisiones de CO₂ (Kg/kWh combustible)
Gasóleo C	0,27

Tabla 31. Emisiones de CO₂ para el Gasóleo C

Conocido este dato así como la demanda real calculada anteriormente, es posible determinar la cantidad de emisiones de CO₂ de la siguiente forma:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Demanda real} = 10300 \text{ kWh} \\ \text{Emisión CO}_2 = 0,27 \text{ Kg / kWh} \end{array} \right\} \text{Cantidad CO}_2 = 10300 \cdot 0,27$$

La cantidad total de CO₂ emitido por la caldera de gasoil es:

$$\text{PTC} = 2781 \text{ Kg CO}_2$$

Una vez concluido el estudio puede verse como tanto la bomba de calor como la caldera de gasoil son las peores soluciones en cuanto a cantidad de gas CO₂ emitido a la atmósfera se refiere.

6.3 COSTE DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN

Con el objetivo de comparar el precio inicial de cada uno de los sistemas de calefacción a estudio, en este punto se seleccionan alguno de los modelos presentes en el mercado para cada aplicación.

Atendiendo exclusivamente al precio del equipo, sin tener en cuenta la instalación del mismo, se escogen a continuación diferentes modelos de calderas para poder comparar sus precios con los del equipo formado por la bomba de calor.

Bomba de calor

Los equipos para este sistema de calefacción han sido seleccionados anteriormente en el apartado 3.3 de este proyecto. Consta por tanto de cinco unidades interiores, splits, y de una unidad exterior, cuyos precios se resumen a continuación:

Unidad		Cantidad	Precio por unidad
FHQ35BUV1B		4	748 €
FHQ50BUV1B		1	831 €
5MXS90		1	4410 €
TOTAL			8233 €

Tabla 32. Precio por unidades de la bomba de calor

El coste de los equipos que forman parte de la bomba de calor como sistema de calefacción es:

Precio= 8233 €

Caldera de gas

La caldera de gas que ha de seleccionarse en este punto deberá suministrar la potencia suficiente como para satisfacer la máxima carga térmica de la vivienda, 10,35 kW.

Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa

De entre los fabricantes existentes en el mercado se ha elegido *Vaillant*, y el modelo de caldera de gas *atmoTEC plus*, que será capaz de aportar calefacción a la vivienda. A continuación se muestra una imagen con alguna de las características técnicas del modelo seleccionado:

Tipo de aparato	Unidad	atmoTEC plus	
		VM ES 240/3-5	VM ES 280/3-5
Calefacción			
Potencia útil en calefacción	kW	24	28
Rango de temperaturas de impulsión	°C	30-75 (85)	30-75 (85)
Máx. ajustable temp. impulsión	°C	40-85	40-85
Cantidad nominal de agua ($\Delta T= 20\text{ K}$)	l/h	1032	1203
Presión disponible de la bomba	mbar	250 (350-170)	250 (350-170)
Volumen del vaso de expansión	l	10	10
Presión previa del vaso de expansión	bar	0,75	0,75
Presión máxima del circuito de calefacción	bar	3	3

Figura 46. Características técnicas de la caldera de gas seleccionada

En el *Anexo IV* de este proyecto se muestran el resto de parámetros característicos de la caldera. En la siguiente tabla puede verse el modelo seleccionado como caldera de gas, así como su precio:

Modelo		Precio
Vaillant atmoTEC plus VM ES 240/3-5		1472 €

Tabla 33. Modelo y precio de la caldera de gas

Por su parte, los componentes encargados de proporcionar calor a las distintas habitaciones de la vivienda serán los radiadores. Repartidos en las dos plantas principales de la vivienda, planta baja y alta, formarían un total de quince. Teniendo en cuenta el coste de la instalación, se resumen en la siguiente tabla los costes totales del sistema de calefacción mediante caldera de gas:

	Precio (€)
Caldera de gas	1472
Radiadores (15)	1899
Instalación	980
TOTAL	4351

Tabla 34. Costes totales del sistema de calefacción mediante caldera de gas

Precio= 4351 €

Caldera de gasoil

Del mismo modo que para la caldera de gas, en este punto es necesario seleccionar un sistema de calefacción mediante gasoil.

El fabricante elegido ha sido *Junkers*, cuyo modelo *SUPRACOMBI CGW 25*, con una potencia de 25 kW permite satisfacer las condiciones de carga máxima de la vivienda en estudio. En el *Anexo IV* de este proyecto pueden verse las características propias del modelo seleccionado, así como sus dimensiones y forma.

SUPRACOMBI	
Modelo	CGW 25
Tipo de aparato/combustible	chapa de acero/gasóleo
Datos Calefacción	
Potencia útil (kW)	25
Presión máx. de circuito (bar)	3
Capacidad vaso expansión (l)	10

Figura 47. Características técnicas de la caldera de gasoil seleccionada

Una vez conocido el modelo y sus prestaciones se muestra a continuación una tabla resumen con el precio total del sistema de calefacción:

Modelo		Precio
Junkers SUPRACOMBI CGW 25		1533 €

Tabla 35. Modelo y precio de la caldera de gasoil

De la misma forma que para la caldera de gas, los componentes que forman parte del sistema, así como el coste de la instalación quedan reflejados en la siguiente tabla:

	Precio (€)
Caldera de gasoil	1533
Radiadores (15)	1899
Instalación	980
TOTAL	4412

Tabla 36. Costes totales del sistema de calefacción mediante caldera de gasoil

Precio= 4412 €

6.4 CONCLUSIONES DE LA COMPARACIÓN

En este punto se extraen las conclusiones acerca de los datos obtenidos en las comparaciones de los tres sistemas de calefacción.

Con el fin de resumir todos los valores obtenidos en los tres apartados anteriores se muestra la siguiente tabla donde se recogen los datos estudiados para cada uno de los sistemas de calefacción:

Sistema de calefacción	Coste por consumo de energía	Potencial Total de Calentamiento (PTC)	Precio del sistema
<i>Bomba de calor</i>	804,62 €	2893,5 Kg CO ₂	8233 €
<i>Caldera de gas</i>	627,08 €	1999,41 Kg CO ₂	4351 €
<i>Caldera de gasoil</i>	1044,42 €	2781 Kg CO ₂	4412 €

Tabla 37. Comparación entre sistemas de calefacción para una temporada

Observando los resultados obtenidos puede verse como la mejor solución para la aplicación descrita en este proyecto durante una temporada de calefacción sería la caldera de gas. Este es el sistema más económico, presenta el menor coste por consumo de energía y precio del equipo, además de emitir la menor cantidad de gas CO₂ a la atmósfera.

Por su parte, la bomba de calor, objeto de estudio en este proyecto, presenta el mayor precio en cuanto al coste inicial de sus equipos. Sin embargo, el coste por consumo de energía eléctrica debido a su funcionamiento se sitúa intermedio entre ambas alternativas. Supone un 23 % de ahorro por consumo de energía respecto a la caldera de gasoil.

En el caso de optar por la caldera de gasoil puede verse como se trata del sistema más caro en cuanto al consumo de energía se refiere, seguido de la bomba de calor, siendo la peor alternativa. Su precio inicial se encuentra cercano al de la caldera de gas, siendo una de las ventajas que presenta este sistema.

Suponiendo una vida del sistema de calefacción con bomba de calor de unos 20 años, al igual que se vio en el apartado de impacto ambiental, se muestra a continuación la comparativa de los sistemas para este periodo de tiempo:

Sistema de calefacción	Coste por consumo de energía (20 años)	Precio del sistema	Precio Total
<i>Bomba de calor</i>	16092,4 €	8233 €	24325,4 €
<i>Caldera de gas</i>	12541,6 €	4351 €	16892,6 €
<i>Caldera de gasoil</i>	20888,4 €	4412 €	25300,4 €

Tabla 38. Comparación de costes entre sistemas de calefacción para 20 años

Observando los resultados obtenidos se pone de manifiesto una vez más que la caldera de gas sería la mejor solución para adoptar en la vivienda, de acuerdo a las condiciones de funcionamiento y al intervalo de operación descritos en este informe. Supone un 30,5 % de ahorro respecto a la bomba de calor.

Por su parte, el precio total de la bomba de calor es similar al obtenido mediante la caldera gasoil, debido al menor coste por consumo de energía del primero, lo que hace compensar su alto coste inicial del equipo, 8233 €.

En cuanto a la emisión de gas CO₂ a la atmósfera por parte de los sistemas de calefacción, cabe destacar que a los 20 años sigue la tendencia vista en la *Tabla 37* para una sola temporada de calefacción, siendo el sistema que menos gases emite la caldera de gas.

Sistema de calefacción	Cantidad de CO₂ emitido (20 años)
<i>Bomba de calor</i>	57870 Kg CO ₂
<i>Caldera de gas</i>	39988,2 Kg CO ₂
<i>Caldera de gasoil</i>	55620 Kg CO ₂

Tabla 39. Comparación de emisiones entre sistemas de calefacción para 20 años

7. PRESUPUESTO

BOMBA DE CALOR	CANTIDAD	PRECIO (€)
UNIDAD EXTERIOR		
Unidad exterior Daikin 5MXS90 Potencia frigorífica nominal: 9 kW Potencia calorífica nominal: 10,4 kW Refrigerante: R-410a Dimensiones (altura x anchura x profundidad): 770x900x320 Peso: 80 Kg	1	4410 €
UNIDADES INTERIORES		
Unidad interior split Daikin FHQ35BUV1B Unidad horizontal de techo Potencia frigorífica nominal: 3,4 kW Potencia calorífica nominal: 4,1 kW Dimensiones (altura x anchura x profundidad): 195x960x680 Peso: 24 Kg	4	2992 €
Unidad interior split Daikin FHQ50BUV1B Unidad horizontal de techo Potencia frigorífica nominal: 5 kW Potencia calorífica nominal: 6 kW Dimensiones (altura x anchura x profundidad): 195x960x680 Peso: 25 Kg	1	831 €
INSTALACIÓN		
Juego de soportes de suelo nivelables para unidad exterior	1	25,5 €
Cuadro eléctrico monofásico de 230 V Cuadro con relé de protección regulable a cada intensidad, para proteger la bomba de calor	1	164 €
TUBERÍAS FRIGORÍFICAS		
Tubería de cobre de 1/4" Conecta la unidad exterior de la bomba de calor con los splits situados en el interior de la vivienda	133,2 m	294,48 €
Tubería de cobre de 3/8" Conecta la unidad exterior de la bomba de calor con los splits situados en el interior de la vivienda	57 m	206,53 €

Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa

<i>Tubería de cobre de 1/2"</i> Conecta la unidad exterior de la bomba de calor con los splits situados en el interior de la vivienda	51,5 m	240,58 €
<i>Tubería de cobre de 5/8"</i> Conecta la unidad exterior de la bomba de calor con los splits situados en el interior de la vivienda	24,7 m	186,2 €
<i>Aislamiento coquilla para tubería de cobre de 1/4"</i> Aislamiento tubular de espesor 25 mm para las tuberías que circulan por el exterior de la vivienda	57,5 m	283,47 €
<i>Aislamiento coquilla para tubería de cobre de 3/8"</i> Aislamiento tubular de espesor 25 mm para las tuberías que circulan por el exterior de la vivienda	31 m	157,79 €
<i>Aislamiento coquilla para tubería de cobre de 1/2"</i> Aislamiento tubular de espesor 25 mm para las tuberías que circulan por el exterior de la vivienda	18,5 m	97,49 €
<i>Aislamiento coquilla para tubería de cobre de 5/8"</i> Aislamiento tubular de espesor 32 mm para las tuberías que circulan por el exterior de la vivienda	8 m	73,76 €
MANO DE OBRA	1	2989 €
TOTAL		12951,8 €

8. CONCLUSIONES

En el presente proyecto se ha realizado el estudio del funcionamiento de una bomba de calor de compresión mecánica como sistema de calefacción para una vivienda unifamiliar.

Se ha partido del cálculo de la carga térmica máxima para la vivienda, considerando las ganancias internas debidas a personas, ordenadores e iluminación, además de la carga de inercia térmica. Una vez obtenida dicha carga térmica máxima se ha procedido a la selección de la bomba de calor, escogiendo Daikin de entre los numerosos fabricantes existentes en el mercado, para su posterior análisis de funcionamiento.

Para la bomba de calor seleccionada se emplea el refrigerante R-410a. Este refrigerante es uno de los más empleados para este tipo de aplicaciones, ya que en caso de producirse cualquier tipo de fuga o escape, este no tiene efectos irritantes sobre las personas que entren en contacto con él, no es tóxico ni inflamable.

Una vez seleccionada la bomba de calor se ha realizado la simulación de la instalación para una temporada de calefacción, periodo comprendido desde el 1 de Noviembre hasta el 30 de Abril. De este estudio se han extraído conclusiones acerca de la evolución de los parámetros de la bomba de calor durante los días más significativos del periodo de calefacción. Se ha obtenido para la temporada la demanda de calefacción, con un valor de 7725 kWh, y una demanda de potencia eléctrica del sistema de 3848 kWh_e. Además de esto, por medio de la simulación anual del sistema se ha logrado calcular el Coeficiente de Eficiencia Energética global medio (COP_e), obteniendo un valor aproximado de 2,007.

Mediante el estudio de Impacto Ambiental se han comprobado las consecuencias medioambientales que lleva consigo el funcionamiento de la bomba de calor durante el periodo de calefacción. La causa principal de dicho impacto será la emisión de gas CO₂ a la atmósfera, colaborando de forma sustancial al aumento del Efecto Invernadero. Se ha calculado que para un año de funcionamiento de la instalación se emitirán 2893,5 Kg de CO₂ a la atmósfera, siendo esta cantidad superior a la que se emitiría mediante una caldera de gas.

Posteriormente se ha procedido a la comparación de la bomba de calor con diferentes sistemas de calefacción, como son la caldera de gas o la de gasoil, por medio de un estudio anual. Del mismo, se ha podido observar como la caldera de gas es la mejor solución para la aplicación estudiada, frente a las otras alternativas, bomba de calor y caldera de gasoil. La bomba de calor consume menos energía, con lo que supone un gasto anual menor, sin embargo su elevado coste inicial hace que no se emplee normalmente en este tipo de instalaciones.

Realizando dicha comparación para un periodo de 20 años, supuesto como la vida para la bomba de calor, puede verse como la mejor solución sigue siendo la caldera de gas, seguida de la caldera de gasoil, y por último la bomba de calor, siendo muy próximos los valores calculados para esta comparados con los de la caldera de gasoil.

Una de las características fundamentales de las bombas de calor, la cual no se ha tenido en cuenta en este informe, es la generación de hielo en el evaporador. Cuando las condiciones del aire que pasa por dicho intercambiador son tales que en su interior se alcanza el punto de escarcha, se produce la formación de hielo. Cuando la cantidad de hielo generada es grande es necesaria la parada del sistema, periodo de desescarche. Estos intervalos suelen producirse cuando la demanda de energía para calefacción es máxima, durante los días más fríos del año.

Cabe destacar que a lo largo de este proyecto se han realizado los cálculos para un funcionamiento continuo del sistema, evitando así la formación de escarcha sobre la superficie del evaporador de la bomba de calor, y por tanto las paradas de la instalación para el correspondiente descarchado, momento en el que la bomba de calor no suministra aire al interior de la vivienda. Si se hubiese tenido en cuenta este efecto, el gasto anual por consumo de energía en la bomba de calor sería superior al calculado, y además se reduciría el COP y la vida de la bomba de calor, debido al número de paradas y arranques que serían necesarios para el desescarche.

Por tanto, la bomba de calor, si no se tienen en cuenta los costes de la instalación, es un sistema rentable a la hora de sustituir a las calefacciones tradicionales de gasoil, con un gasto menor por consumo de energía. En cuanto al ahorro en emisiones de CO₂ a la atmósfera, la bomba de calor no supone un gran avance respecto a los sistemas convencionales de calefacción. El funcionamiento de la bomba de calor en un intervalo horario en el cual la temperatura exterior sea mayor supone un gran ahorro con respecto a las demás alternativas. La rentabilidad de la bomba de calor será mayor cuanto mayor sea el aumento de los precios de los combustibles, Gas Natural o Gasóleo C, y menor con el aumento del precio de la electricidad.

9. NOMENCLATURA

A	Área de transferencia, (m ²)
A _{entreplanta}	Área de entreplanta (m ²)
A _{transmisión}	Área de transmisión (m ²)
B'	Longitud característica
COP _e	Coefficiente de eficiencia energética eléctrico
COP _m	Coefficiente de eficiencia energética mecánico
C _p	Calor específico del aire (J/KgK)
C _R	Carga de refrigerante que hay en la instalación (Kg refrigerante)
e	Espesor de la capa (m)
f	Factor de fugas (%)
h _{1'}	Entalpía en el punto final del subenfriamiento (KJ/Kg)
h _{2'}	Entalpía en el punto de salida de la válvula de expansión (KJ/Kg)
h _{3'}	Entalpía en el punto de entrada al compresor (KJ/Kg)
h _{4'}	Entalpía en el punto final de la compresión (KJ/Kg)
h ₅	Entalpía en el punto de descarga del compresor (KJ/Kg)
m _{evap}	Caudal de aire del evaporador (Kg/s)
m _{cond}	Caudal de aire del condensador (Kg/s)
m _r	Caudal de refrigerante (Kg/s)
m _{ren}	Caudal de aire de renovación (Kg/s)
n	Horas de funcionamiento de la instalación
N	Número de años de funcionamiento de la instalación, vida
P	Perímetro (m)
P _{aspiración}	Presión de aspiración (bar)
P _{descarga}	Presión de descarga (bar)
P _{evap}	Presión de evaporación (bar)
P _{cond}	Presión de condensación (bar)
pe _{id}	PEI del refrigerante por unidad de masa (Kg CO ₂ /Kg refrigerante)
pe _{ii}	Masa de CO ₂ vertida a la atmósfera (Kg CO ₂ /kWh)
PE _{ID}	Potencial de Efecto Invernadero Directo (Kg equivalentes CO ₂)
PE _{II}	Potencial de Efecto Invernadero Indirecto (Kg CO ₂)
PCI	Poder Calorífico Inferior del Gasóleo C (kWh/litro)
PTC	Potencial Total de Calentamiento (Kg CO ₂)
q _{cond}	Potencia del condensador por unidad de masa (KJ/Kg)
q _{evap}	Potencia del evaporador por unidad de masa (KJ/Kg)
Q _{cond}	Potencia del condensador (W)
Q _{equipos}	Carga térmica debida a equipos electrónicos o electrodomésticos (W)
Q _{evap}	Potencia del evaporador (W)
Q _{iluminación}	Carga térmica debida a la iluminación (W)
Q _{inercia térmica}	Carga de inercia térmica (W)
Q _{infiltración}	Carga térmica de infiltración (W)
Q _{interna}	Carga térmica interna (W)
Q _{latente}	Carga térmica latente debida a las personas (W)
Q _{personas}	Carga térmica interna debida a las personas (W)

$Q_{\text{renovación}}$	Carga térmica de renovación (W)
Q_{sensible}	Carga térmica sensible debida a las personas (W)
$Q_{\text{térmica máxima}}$	Carga térmica máxima en la vivienda (W)
$Q_{\text{térmica máxima habitación}}$	Carga térmica máxima de la habitación (W)
$Q_{\text{térmica máxima planta alta}}$	Carga térmica máxima de la planta alta de la vivienda (W)
$Q_{\text{térmica total}}$	Carga térmica total (W)
$Q_{\text{térmica total habitación}}$	Carga térmica total de la habitación (W)
$Q_{\text{térmica total planta}}$	Carga térmica total por planta de la vivienda (W)
$Q_{\text{térmica total planta alta}}$	Carga térmica total de la planta alta de la vivienda (W)
$Q_{\text{transmisión}}$	Carga térmica de transmisión (W)
$Q_{\text{transmisión entre planta}}$	Carga térmica de transmisión para la entreplanta (W)
Q_{TM}	Carga térmica máxima de diseño de la vivienda (W)
$Q_{\text{TOTAL renovación}}$	Carga térmica total de renovación (W)
$Q_{\text{TOTAL transmisión}}$	Carga térmica total de transmisión (W)
r	Relación de compresión
R	Resistencia térmica de una capa ($\text{m}^2\text{K/W}$)
R_a	Resistencia térmica del aislante en soleras o losas ($\text{m}^2\text{K/W}$)
R_m	Resistencia térmica del muro enterrado ($\text{m}^2\text{K/W}$)
R_{se}	Resistencia térmica superficial exterior ($\text{m}^2\text{K/W}$)
R_{si}	Resistencia térmica superficial interior ($\text{m}^2\text{K/W}$)
R_T	Resistencia total capas que componen el cerramiento ($\text{m}^2\text{K/W}$)
t	Temperatura exterior o en la zona adyacente sin climatizar ($^{\circ}\text{C}$)
t_{ext}	Temperatura de diseño en el exterior de la vivienda ($^{\circ}\text{C}$)
t_{int}	Temperatura de diseño en el interior de la vivienda ($^{\circ}\text{C}$)
T_{cond}	Temperatura de condensación ($^{\circ}\text{C}$)
T_{evap}	Temperatura de evaporación ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{máxima}}$	Temperatura máxima exterior ($^{\circ}\text{C}$)
T_{media}	Temperatura media exterior ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{mínima}}$	Temperatura mínima exterior ($^{\circ}\text{C}$)
U	Coeficiente global de transferencia de calor ($\text{W/m}^2\text{K}$)
$U_{\text{entreplanta}}$	Coef global de transferencia de calor de la entreplanta ($\text{W/m}^2\text{K}$)
$U_{\text{máx}}$	Coef global de transferencia de calor máximo ($\text{W/m}^2\text{K}$)
$U_{\text{muro exterior}}$	Coef global de transferencia de calor muro exterior ($\text{W/m}^2\text{K}$)
U_{puerta}	Coef global de transferencia de calor de las puertas ($\text{W/m}^2\text{K}$)
U_s	Coef global de transferencia de calor de suelos ($\text{W/m}^2\text{K}$)
U_{techo}	Coef global de transferencia de calor del techo ($\text{W/m}^2\text{K}$)
U_{ventanas}	Coef global de transferencia de calor de las ventanas ($\text{W/m}^2\text{K}$)
U_T	U de cerramientos en contacto con el terreno ($\text{W/m}^2\text{K}$)
V	Volumen (m^3)
V_{ren}	Volumen de aire de renovación (m^3)
W_{comp}	Potencia indicada del compresor por unidad de masa (KJ/Kg)
W_e	Potencia eléctrica del compresor por unidad de masa (KJ/Kg)
W_m	Potencia mecánica del compresor por unidad de masa (KJ/Kg)
W_{comp}	Potencia indicada del compresor (W)
W_e	Potencia eléctrica del compresor (W)
$W_{\text{equipos auxiliares}}$	Potencia de los ventiladores del compresor y evaporador (W)

*Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión
mecánica de expansión directa*

$W_{\text{vent cond}}$	Potencia de los ventiladores del condensador (W)
$W_{\text{vent evap}}$	Potencia de los ventiladores del evaporador (W)
z	Profundidad de la parte enterrada del muro (m)
ΔP_{evap}	Pérdida de carga en el evaporador (bar)
ΔP_{cond}	Pérdida de carga en el condensador (bar)
$\Delta P_{\text{vent evap}}$	Diferencia de presión en el evaporador (Pa)
$\Delta P_{\text{vent cond}}$	Diferencia de presión en el condensador (Pa)
ΔT_{evap}	Diferencia de temperaturas entre exterior y la del evaporador
ΔT_{cond}	Diferencia de temperaturas entre la impulsión y el interior
$\eta_{\text{caldera gas}}$	Rendimiento de la caldera de gas
$\eta_{\text{caldera gasoil}}$	Rendimiento de la caldera de gasoil
η_{cond}	Rendimiento del condensador
η_{evap}	Rendimiento del evaporador
η_{in}	Rendimiento indicado
ρ_{aire}	Densidad del aire (Kg/m^3)
λ	Conductividad térmica del material (W/mK)

10. BIBLIOGRAFÍA

"Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE)". Madrid, 1999. Extraído del RD 1751/1998, de 31 de Julio, publicado el 5 de Agosto de 1998 en el BOE.

"Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE. Ahorro de Energía". Marzo 2006.

"Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, sobre Condiciones Térmicas en los edificios". Madrid, 1979. Aprobada por RD 2429/79, de 6 de Julio.

"Apuntes de la asignatura Instalaciones Térmicas", de la Escuela Politécnica Superior. Universidad Carlos III de Madrid. Autor: Marcelo Izquierdo Millán.

Incropera, Frank P. Dewitt, David P. *"Fundamentos de transferencia de calor"*. 4ª edición. México: Prentice Hall, 1999. ISBN: 970-17-0170-4.

Moran, M.S. Shapiro, H.N. *"Fundamentos de termodinámica técnica"*. Volumen II. Barcelona: Editorial Reverte, 1995. ISBN: 84-2914-17-15.

Proyecto Fin de Carrera: *"Diseño de bomba de calor utilizando como evaporador un campo de colectores solares. Calefacción por suelo radiante"*. Autor: Julio Rubiano Hernández. Director: Marcelo Izquierdo Millán. Abril 2008.

Proyecto Fin de Carrera: *"Climatización de una vivienda unifamiliar mediante una bomba de calor reversible con intercambio geotérmico"*. Autor: Andrés Guerra Moya. Director: Marcelo Izquierdo Millán. MAYO 2006.

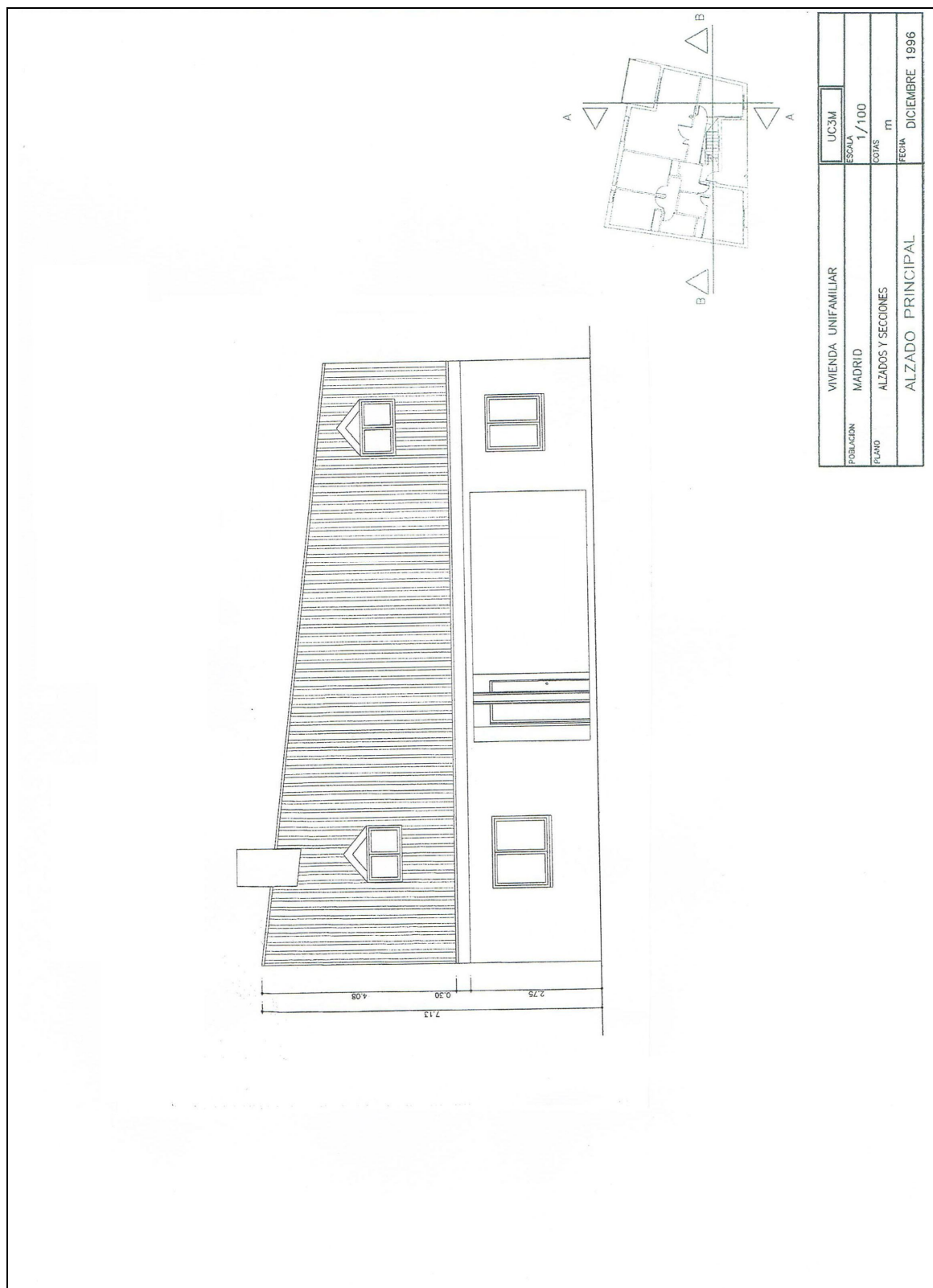
"Manual del usuario Mathcad 14.0". Parametric Technology Corporation (PTC). Febrero 2007.

www.daikin.es. Sitio web del grupo Daikin.

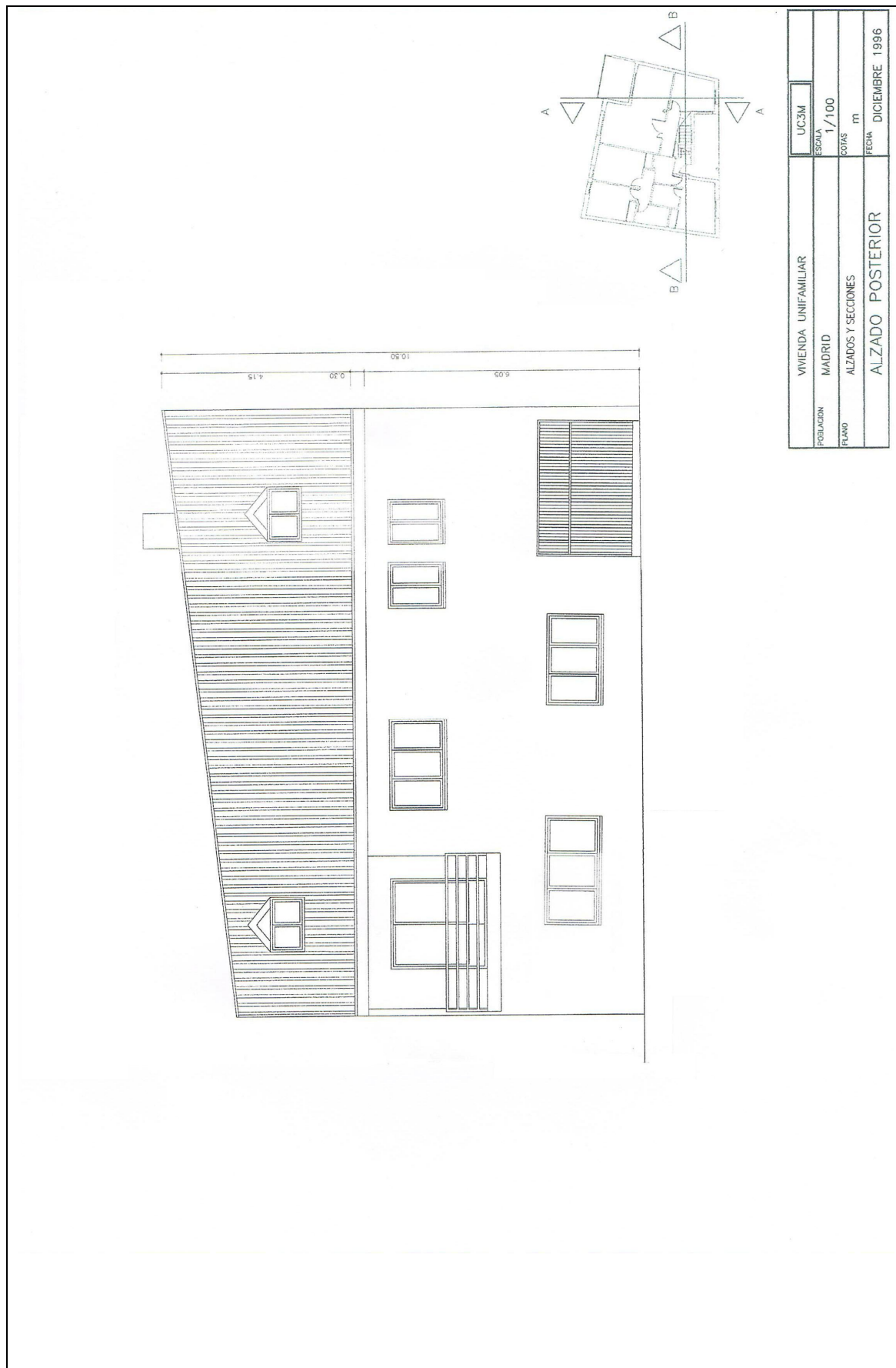
Catálogo de calderas Valliant y Junkers.

ANEXOS

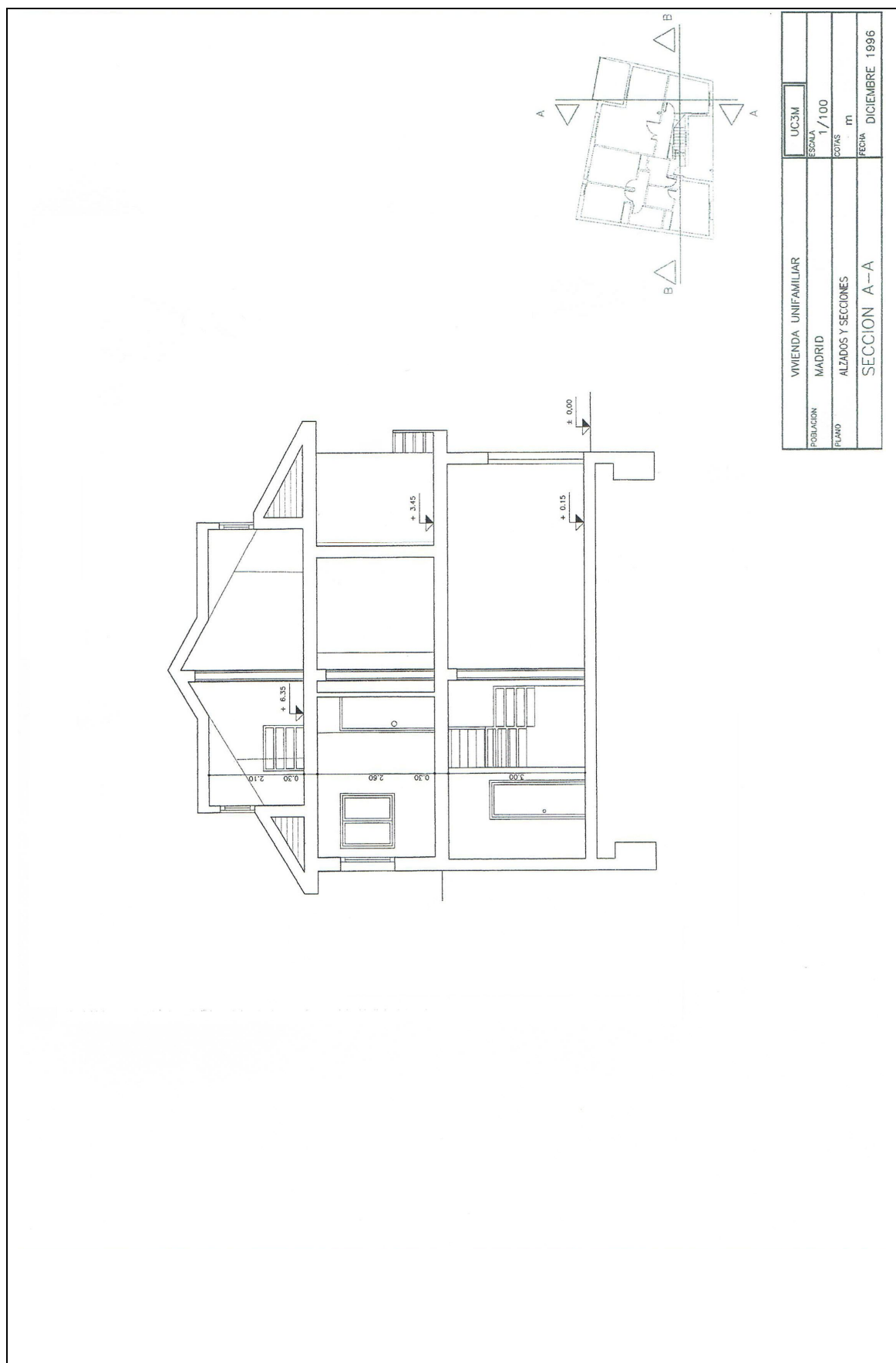
I. PLANOS DE LA VIVIENDA



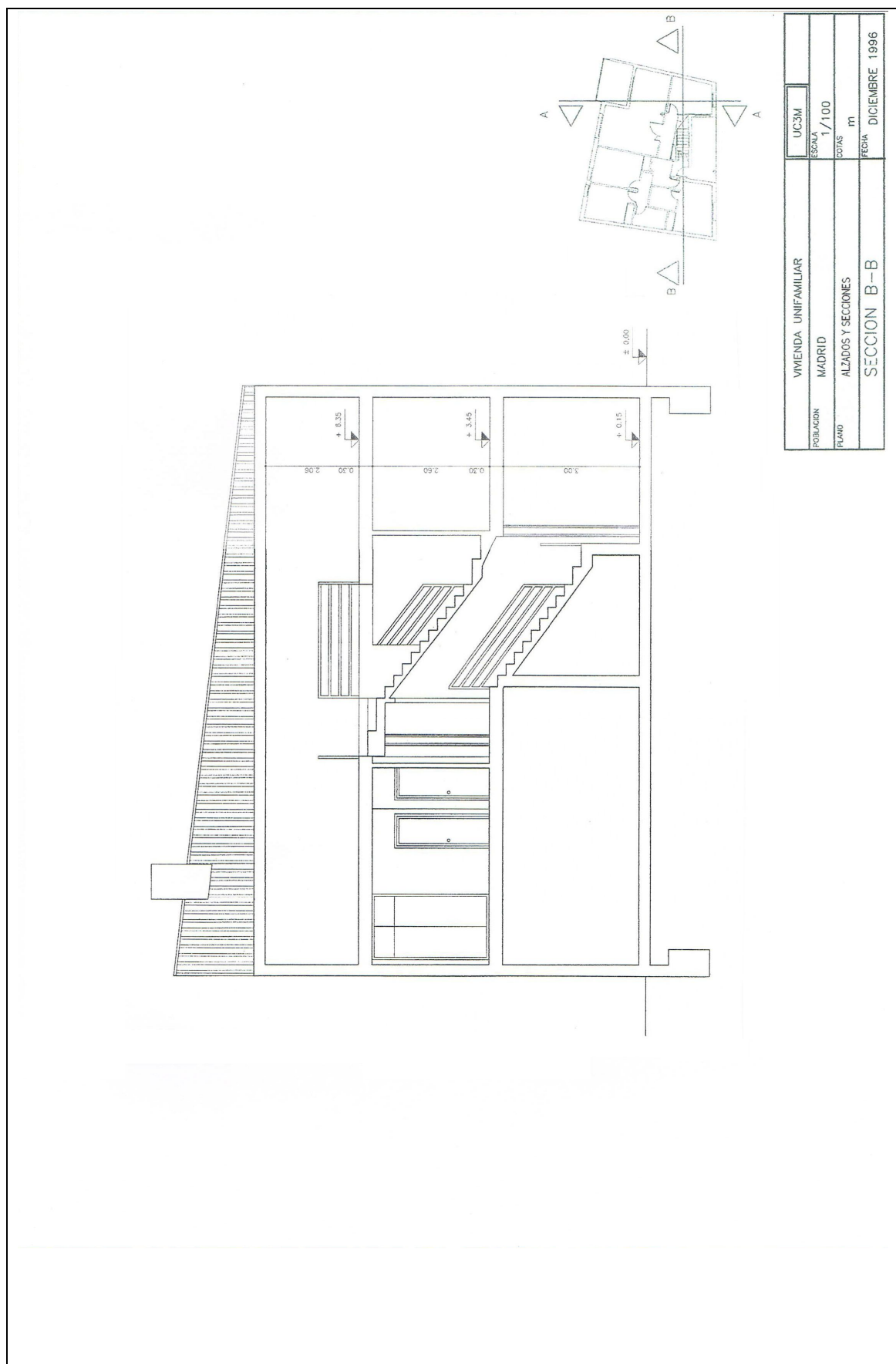
Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa



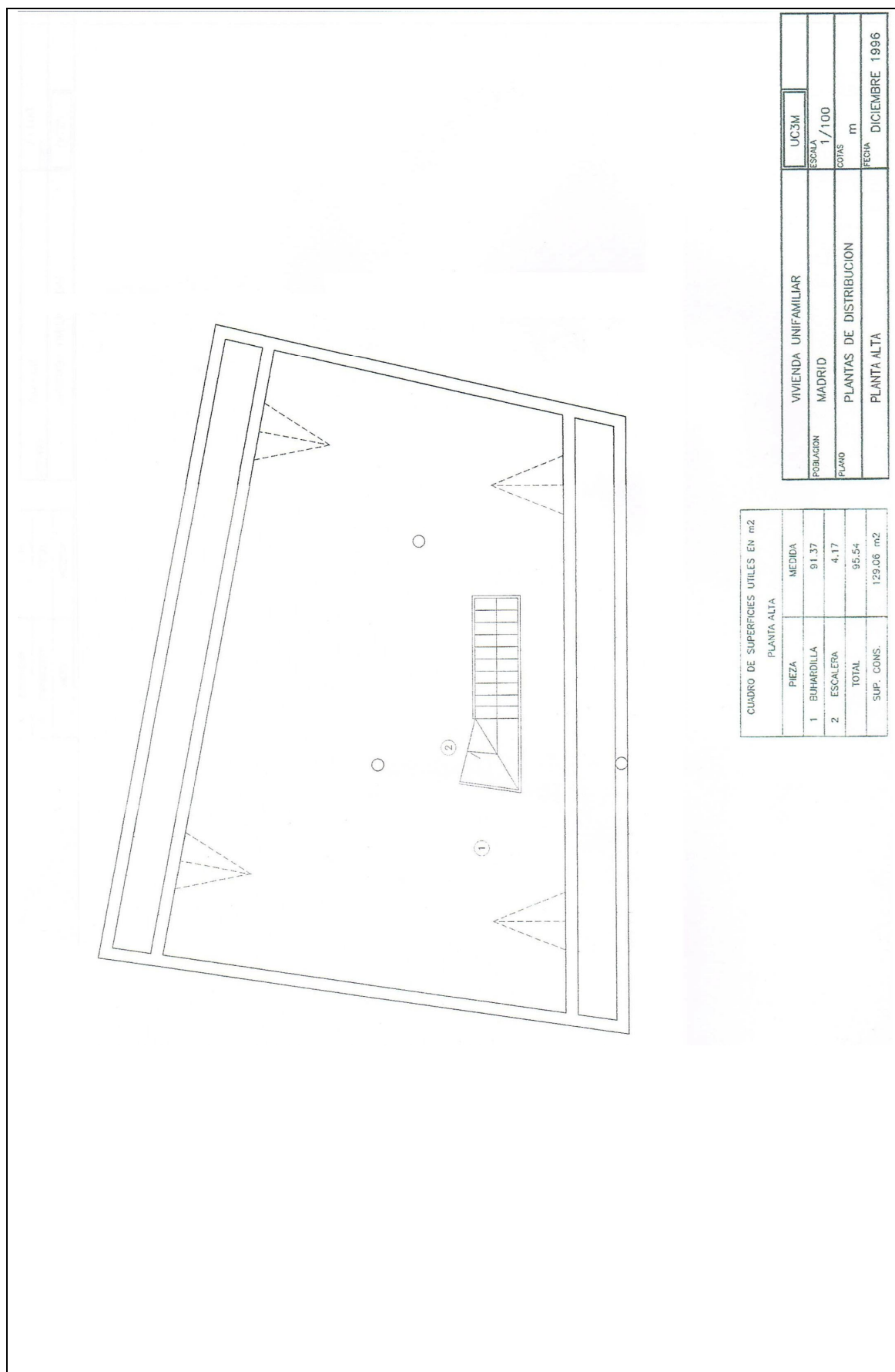
Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa



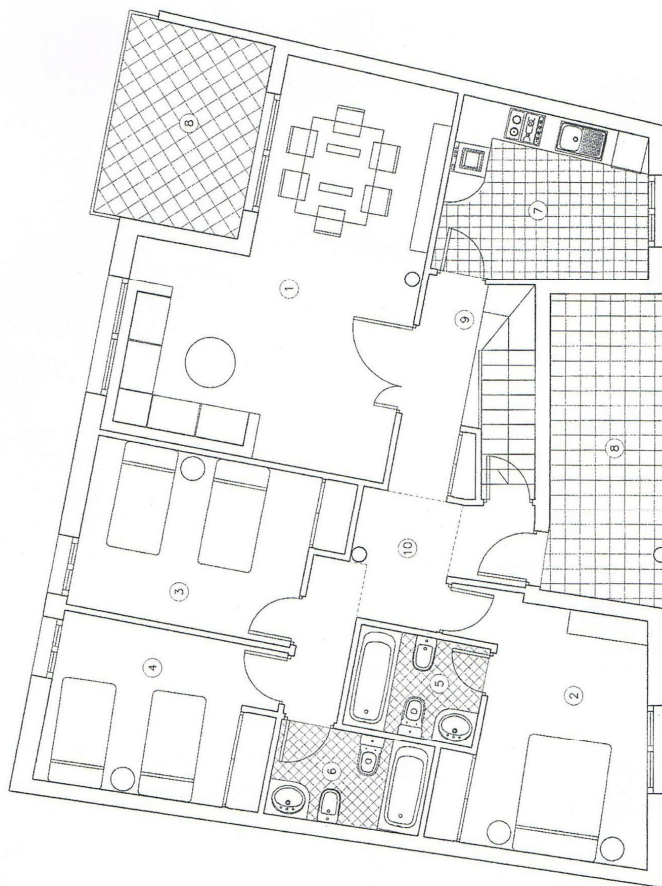
Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa



Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa



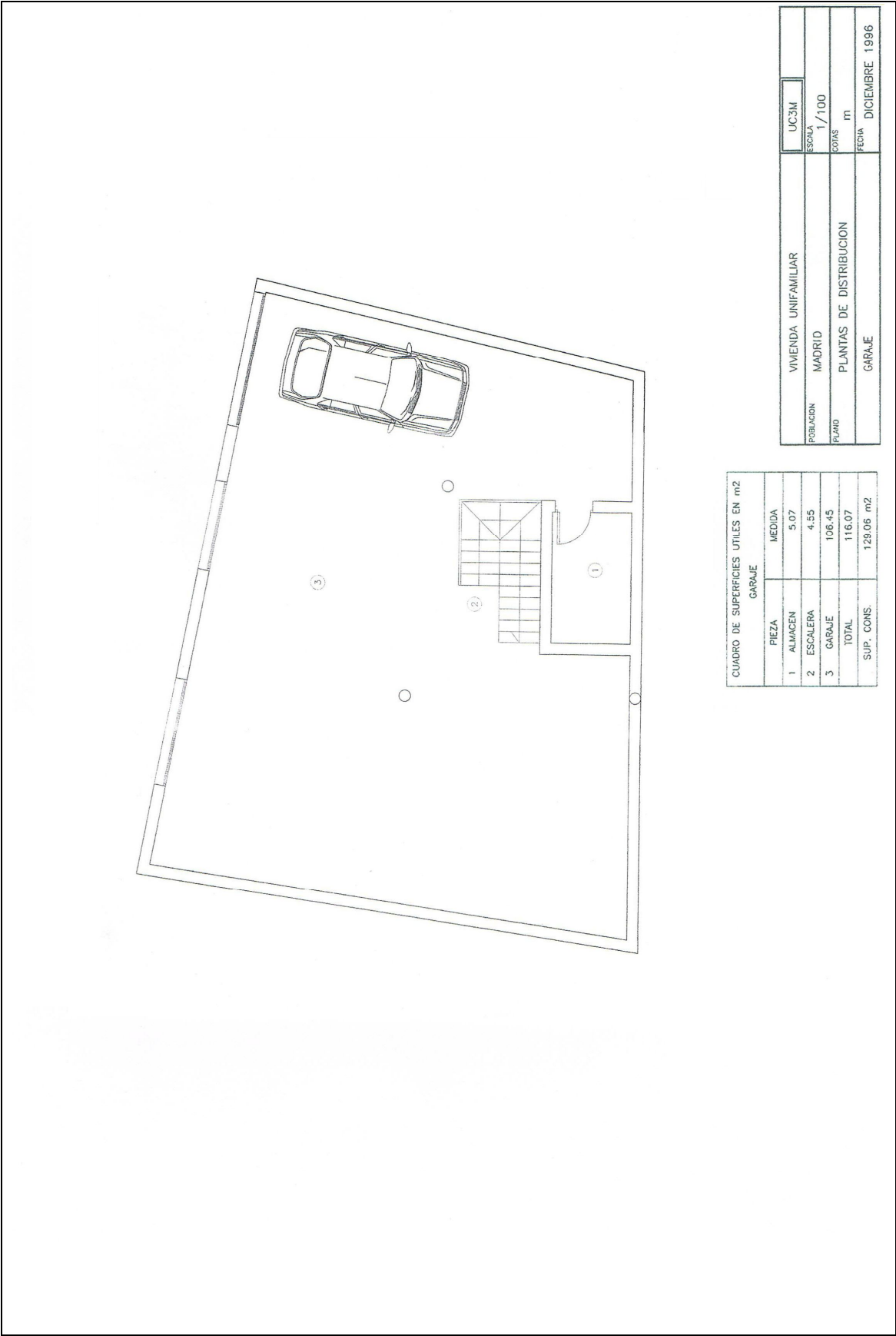
Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa



CUADRO DE SUPERFICIES ÚTILES EN m ²		
PIEZA	PLANTA BAJA	MEDIDA
1 SALÓN-COMEDOR		25.81
2 DORMITORIO I		13.40
3 DORMITORIO II		11.74
4 DORMITORIO III		10.66
5 BAÑO I		3.74
6 BAÑO II		4.11
7 COCINA		9.29
8 TERRAZA S/2		4.10
9 ESCALERA		3.52
10 DISTRIBUIDOR		11.58
PORCHE S/2		5.20
TOTAL		103.15
SUP. CONS.		121.50 m ²

VIVIENDA UNIFAMILIAR	UC3M
POBLACION	MADRID
PLANO	PLANTAS DE DISTRIBUCION
	PLANTA BAJA
	ESCALA
	1/100
	COPIAS
	m
	FECHA
	DICIEMBRE 1996

Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa



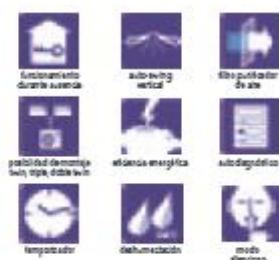
II. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS



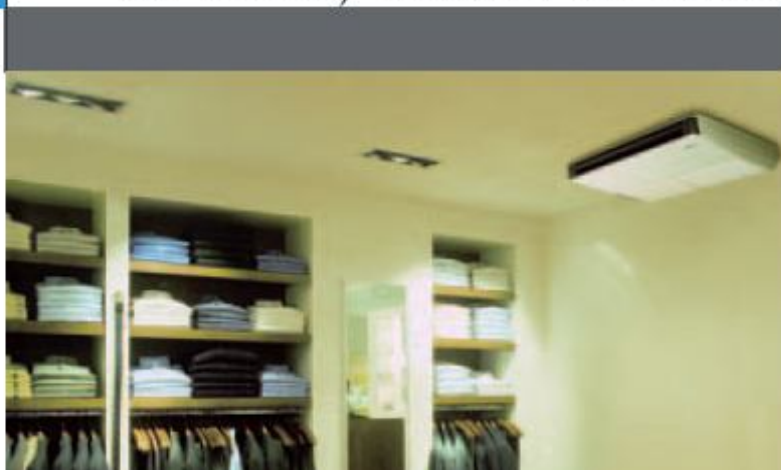
EPLS05-23B2 BC

FHQ-B / RQ-B

Unidades horizontales de techo, bomba de calor



R-410A



- La dirección automática del caudal de aire con un ángulo de 100° garantiza una distribución uniforme de la temperatura y del caudal de aire.



- La forma de distribución del caudal de aire puede adaptarse a alturas de techo de hasta 3,8 m. sin pérdida de capacidad.
- Funcionamiento extremadamente silencioso, tanto en el interior [hasta 24,5 dB(A)] como en el exterior [hasta 43 dB(A)].
- El mando a distancia con cable le ofrece una función de temporizador de programación, que le permitirá programar el funcionamiento diario o semanal del sistema de climatización.

- El mando a distancia con cable le ofrece una función de **temporizador de programación**, que le permitirá programar el funcionamiento diario o semanal del sistema de climatización.



- La unidad interior incorpora un filtro de aire que atrapa las partículas microscópicas y el polvo.

- El botón de Funcionamiento durante ausencia evita que haya grandes diferencias de temperatura, haciendo funcionar la unidad de manera continuada a un nivel predeterminado y permite recuperar antes la temperatura de confort al regreso.

- Se pueden conectar hasta 5 unidades interiores a 1 unidad exterior Multi. Todas las unidades interiores son controlables de forma individual con un mando a distancia y no necesitan estar instaladas en la misma habitación.



2 Especificaciones



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS							
Sólo para unidades interiores:							
UNIDADES INTERIORES				FHQ35BUV1B	FHQ50BUV1B	FHQ60BUV1B	
DIMENSIONES	Unidad	A	mm	195			
		L	mm	960		1,160	
		P	mm	680			
PESO	Unidad		kg	24	25	27	
COLOR	Unidad	Blanco					
NIVEL SONORO	Presión acústica (refrigeración/calefacción) (3)	alto	dB(A)	37/37	38/38	39/38	
		bajo	dB(A)	32/32	33/33	33/33	
	Potencia sonora (refrigeración/calefacción) (4)	alto	dB(A)	53/53	54/54	55/54	
		bajo	dB(A)	48/48	49/49	49/49	
VENTILADOR	Caudal de aire (refrigeración/calefacción)	alto	m³/min	13/13		17/16	
		bajo	m³/min	10/10		13/13	
	Velocidad	etapas	2etapas				
	Tipo	Ventilador sirocco					
	Cant. x potencia del motor		W	1 x 62			
INTERCAMBIADOR DE CALOR	Tipo			Batería de aletas cruzadas (aletas corrugadas y tubos N-HiCu)			
	Filas x etapas x paso de aletas		mm	2 x 12 x 1,75	3 x 12 x 1,75	2 x 12 x 1,75	
	Superficie		m²	0.182		0.233	
CONEXIONES DE TUBERIA		líquido	mm	Φ6.4			
		gas	mm	Φ9.5	Φ12.7		
		drenaje D.I.	mm	Φ20 (VP20)			
		drenaje D.E.	mm	Φ26 (VP20)			
MATERIAL DE AISLAMIENTO	Aislamiento térmico			Espuma de poliestireno / Espuma de polietileno			
	Aislamiento acústico absorbente			Espuma de poliuretano/Lana de vidrio			

Sólo para unidades exteriores:	Aplicación Split	Consulte los capítulos RS-B + RKS-D/B + RKS-D/B
	Aplicación a múltiples modelos	Consulte los capítulos MKS-D, MXS-D, RMXS-D

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						
Sólo para unidades interiores:						
UNIDADES INTERIORES				FHQ71BUV1B	FHQ100BUV1B	FHQ125BUV1B
DIMENSIONES	Unidad	A	mm	195		
		L	mm	1,160	1,400	1,590
		P	mm	680		
			kg	27	32	35
PESO	Unidad					
COLOR	Unidad			Blanco		
NIVEL SONORO	Presión acústica (refrigeración/calefacción) (3)	alto	dB(A)	39	42	44
		bajo	dB(A)	35	37	39
	Potencia sonora (refrigeración/calefacción) (4)	alto	dB(A)	55	58	60
		bajo	dB(A)	51	53	55
VENTILADOR	Caudal de aire (refrigeración/calefacción)	alto	m³/min	17	24	30
		bajo	m³/min	14	20	25
	Velocidad	etapas			2 etapas	
	Tipo				Ventilador sirocco	
	Cant. x potencia del motor	W	1 x 62	1 x 130		
INTERCAMBIADOR DE CALOR	Tipo			Batería de aletas cruzadas (aletas corrugadas y tubos N-HiCu)		
	Filas x etapas x paso de aletas			3 x 12 x 1,75		
	Superficie			0.182	0.293	0.341
CONEXIONES DE TUBERIA		líquido	mm	φ9.5		
		gas	mm	φ15.9		
		drenaje D.I.	mm	φ20 (VP20)		
		drenaje D.E.	mm	φ26 (VP20)		
MATERIAL DE AISLAMIENTO	Aislamiento térmico			Espuma de poliestireno / Espuma de polietileno		
	Aislamiento acústico absorbente			Espuma de poliuretano/Lana de vidrio		

Sólo para unidades exteriores:	Aplicación Split	Ver capítulo RR-B7, RQ-B7, REQ-B7, RZQ-B
--------------------------------	------------------	--

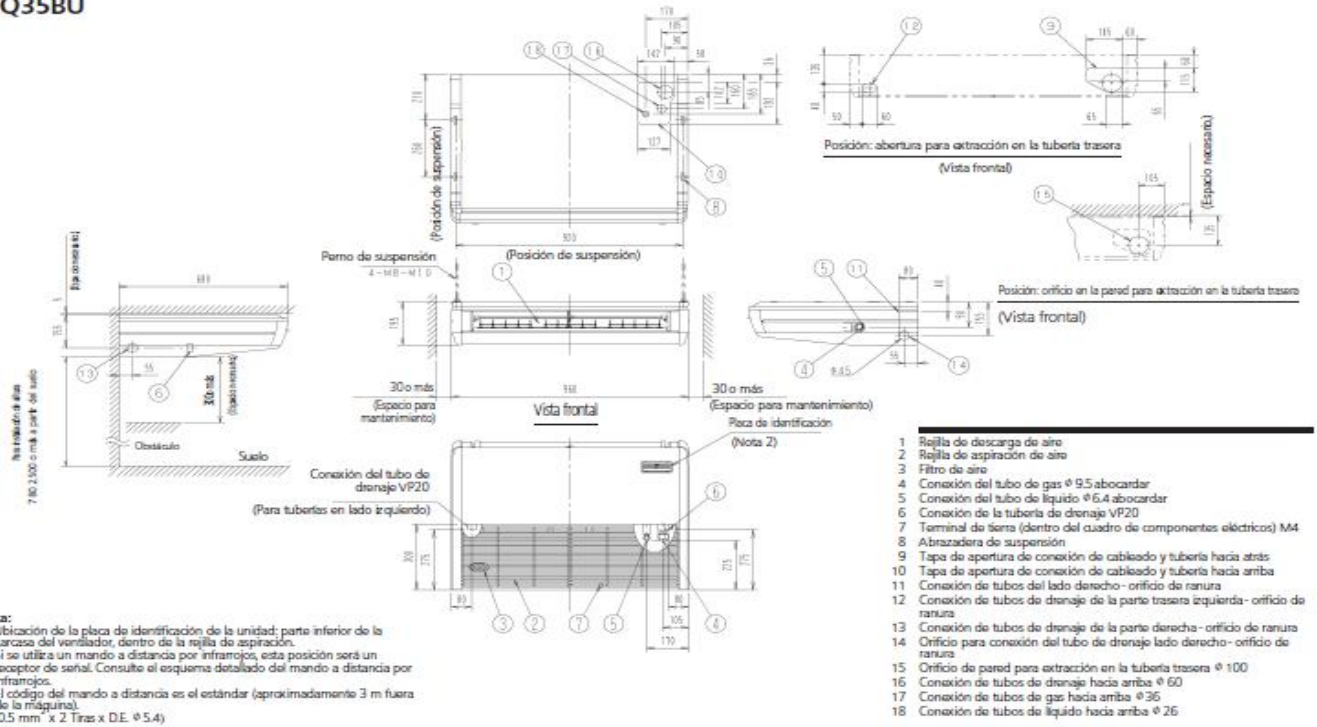
Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa

DAIKIN • Unidad horizontal de techo, con tecnología inverter • R-410A • FHQ35-125BUV18

3 Planos de dimensiones

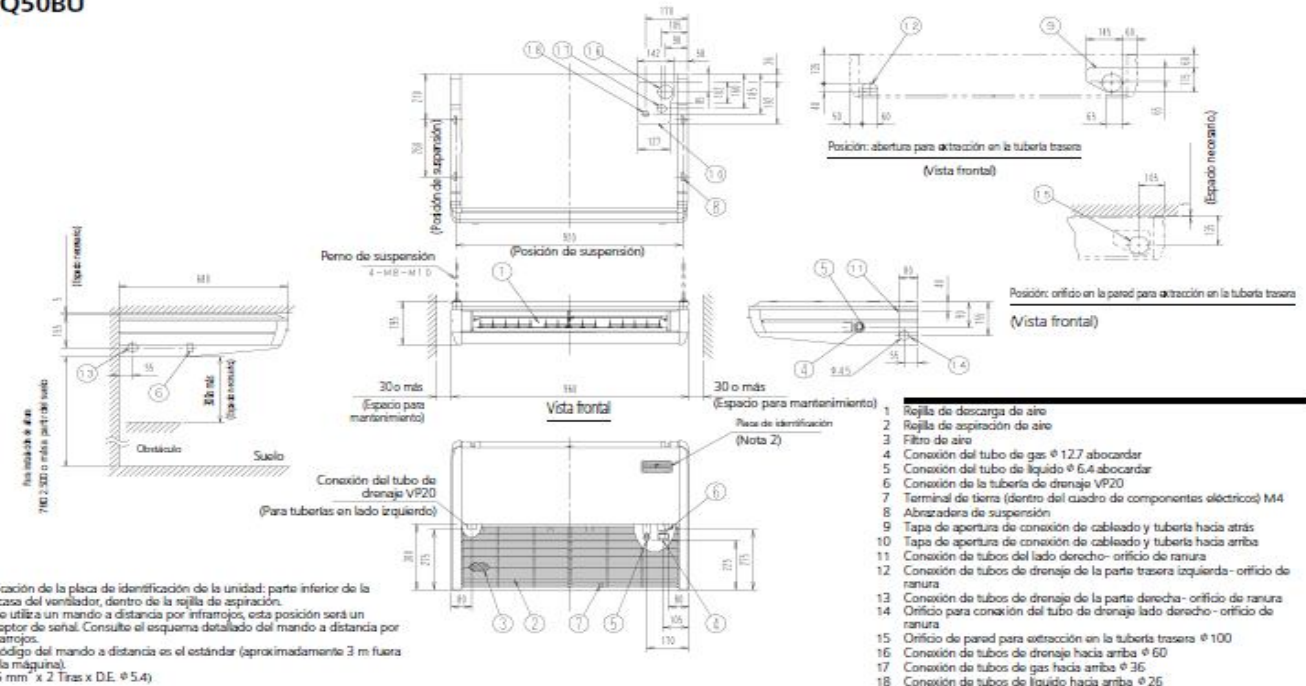


FHQ35BU



3D037996

FHQ50BU



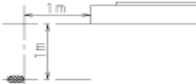
Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa

DAIKIN • Unidad horizontal de techo, con tecnología inverter • R-410A • FHQ35-125BUV1B

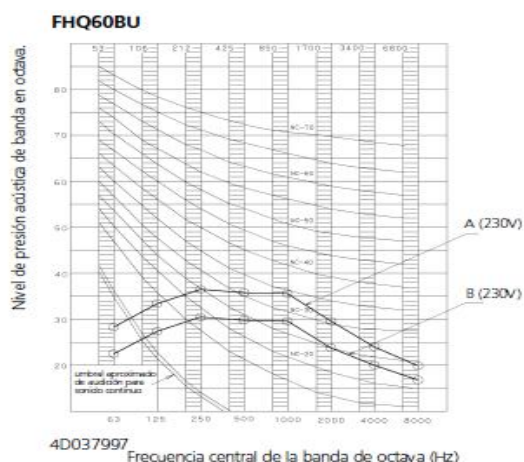
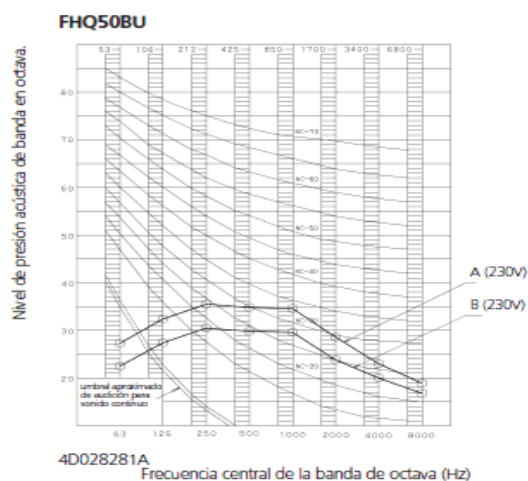
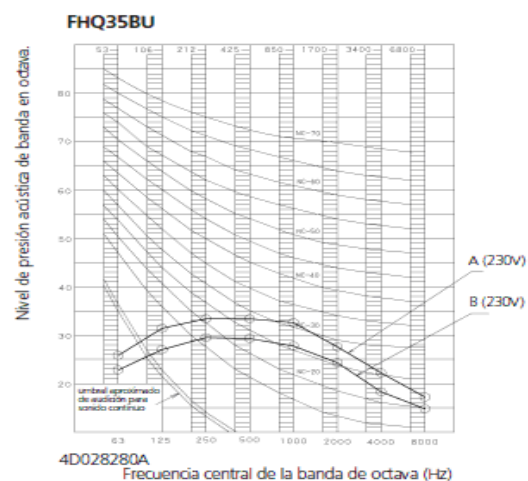


6 Nivel acústico

6-1 Datos del nivel acústico

Modelo	Nivel de presión acústica		Lugar de la medición	Nivel de potencia acústica	
	230V			A (refrigeración/calefacción)	B (refrigeración/calefacción)
	50Hz				
FHQ35BUV1B	37/37	32/32	<p>Situación del micrófono</p> 	53/53	48/48
FHQ50BUV1B	38/38	33/33		54/54	49/49
FHQ60BUV1B	39/-	33/-		55/-	49/-
FHQ71BUV1B	39/39	35/35		55/55	51/51
FHQ100BUV1B	42/42	37/37		58/58	53/53
FHQ125BUV1B	44/44	39/39		60/60	55/55

6-2 Espectro de la presión acústica



NOTAS

- 1 Los niveles de presión acústica se miden en una cámara anecoica.
- 2 Datos válidos en condiciones de funcionamiento nominales.
- 3 El nivel sonoro en funcionamiento es diferente según las condiciones de funcionamiento y ambientales.

DAIKIN • Split - Sky Air • Unidades interiores

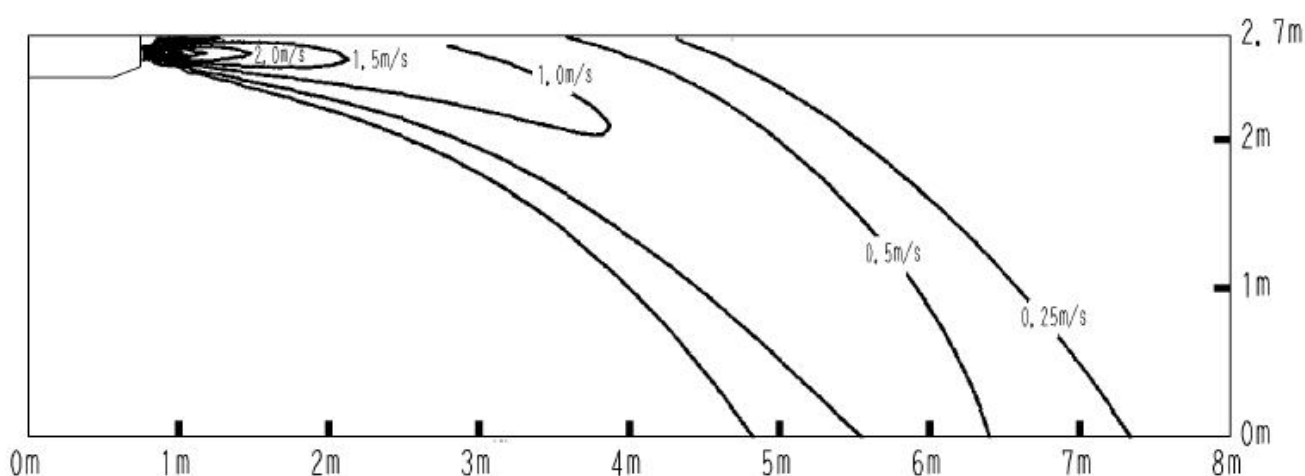


7 Patrones del flujo de aire

FHQ35-50BU

Refrigeración - distribución de velocidad del aire

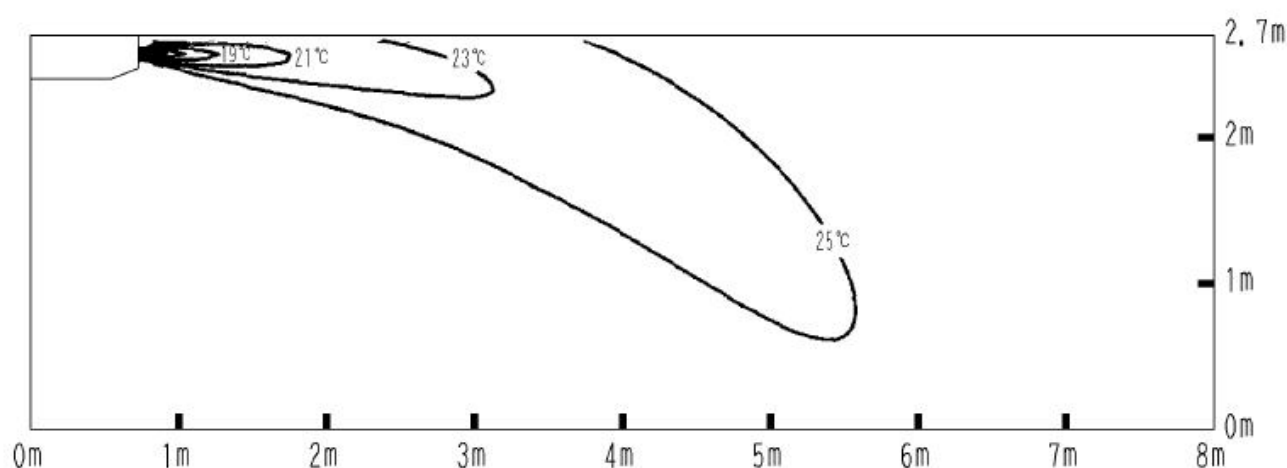
Dirección del flujo de aire: horizontal



FHQ35-50BU

Refrigeración - distribución de la temperatura del aire

Dirección del flujo de aire: horizontal



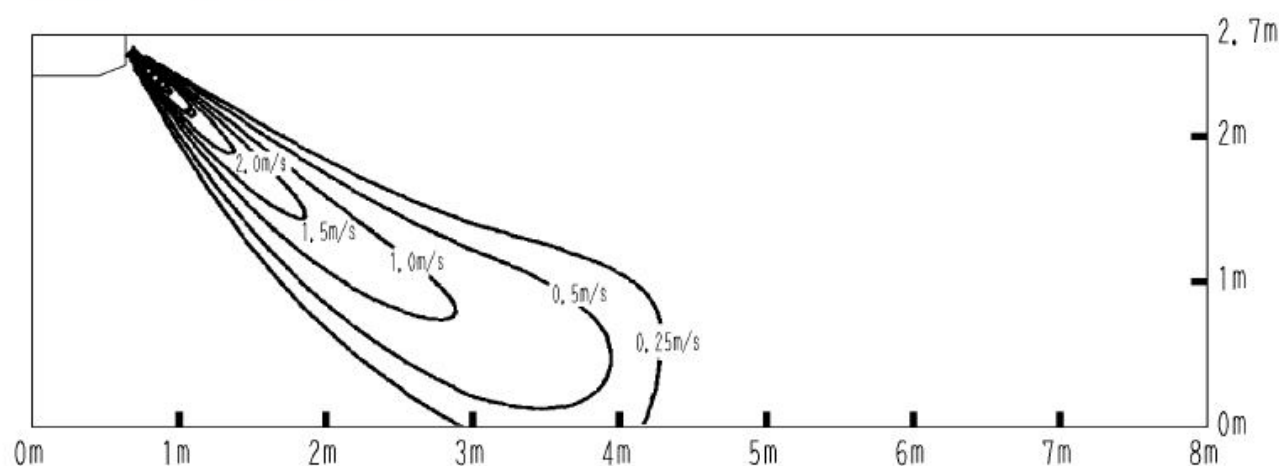


7 Patrones del flujo de aire

FHQ35-50BU

Distribución de la velocidad del aire de la calefacción.

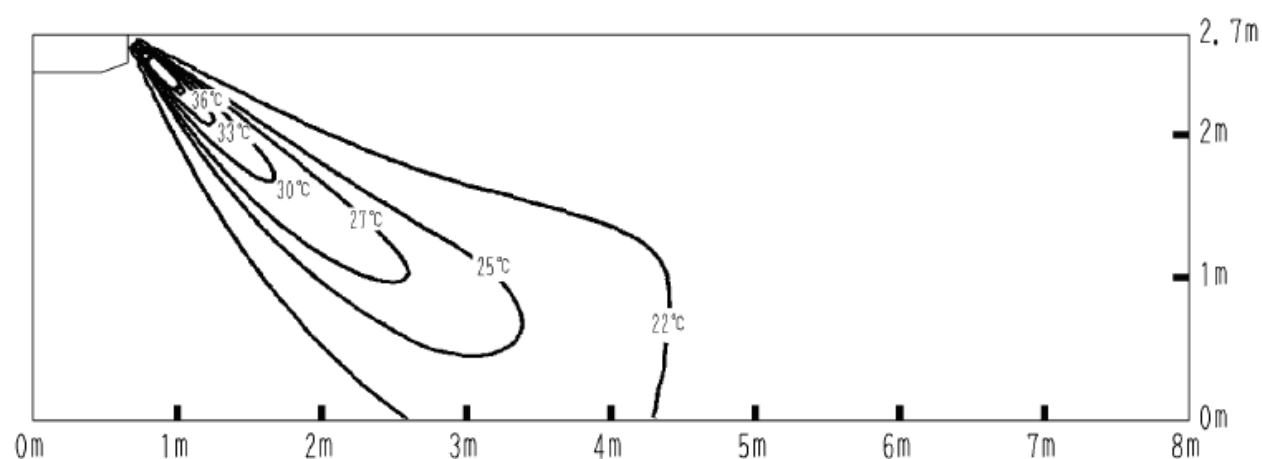
Dirección del flujo de aire: 45° (hacia abajo)



FHQ35-50BU

Distribución de la temperatura del aire de calefacción.

Dirección del flujo de aire: 45° (hacia abajo)





EEDES10-100

datos técnicos

MXS-E2V3B

sistemas de climatización

Split
Sky Air

R-410A

*Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión
mecánica de expansión directa*

DAIKIN • Unidades exteriores • R410A • MXS-E2V1B_E2V3B

2 Especificaciones

2-1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				3MXS52E2V1B	4MXS80E2V3B	5MXS90E2V3B	
Carcasa	Color			Blanco marfil			
Dimensiones	Unidad	Altura	mm	735	770	770	
		Anchura	mm	936	900	900	
		Profundidad	mm	300	320	320	
	Empaquetadura	Altura	mm	797	900	900	
		Anchura	mm	992	925	925	
		Profundidad	mm	390	390	390	
Peso	Peso de la máquina		kg	49	72	73	
	Peso bruto		kg	56	80	80	
Intercambiador de calor	Dimensiones	Longitud	mm	845	879	879	
		N° de filas		2	2	2	
		Paso de aletas	mm	1.8	1.4	1.4	
		N° de etapas		32	34	34	
	Tipo de tubo			Tuberías estriadas ø7,94 - 24	Hi-Xa(8)	Hi-Xa(8)	
	Aleta	Tipo		Aleta «Colgate»			
		Tratamiento		Tratamiento anticorrosivo (PE)			
Ventilador	Tipo			Helicoidal			
	Caudal de aire	Refrigeración (baja)	m³/min	45	46.0	46.0	
		Refrigeración (estándar)	m³/min			54.5	
		Refrigeración (alta)	m³/min	45	54.5	57.1	
		Calefacción (baja)	m³/min	41	14.7	14.7	
		Calefacción (alta)	m³/min	45	46.0	52.5	
		Refrigeración (baja)	cfm	1,589	1,624	1,624	
		Refrigeración (estándar)	cfm			1,924	
		Refrigeración (alta)	cfm	1,589	1,924	2,016	
		Calefacción (baja)	cfm	1,448	519	519	
		Calefacción (alta)	cfm	1,589	1,624	1,854	
		Motor	Modelo	KFD-380-50-8A	KFD-280-66-8A	KFD-280-66-8A	
	Motor	Velocidad (nominal a 230V)	Refrigeración (baja)	rpm	660	730	730
			Refrigeración (estándar)	rpm			860
Refrigeración (alta)			rpm	720	860	900	
Calefacción (baja)			rpm	660	250	250	
Calefacción (alta)			rpm	720	730	830	
Ventilador	Motor	Potencia	W	53	66	66	
Compresor	Motor	Modelo		2YC36BXD	2YC63BXD#C	2YC63BXD#C	
		Tipo		Compresor swing herméticamente sellado			
		Potencia del Motor	W	1,100	1,920	1,920	
Límite de funcionamiento	Refrigeración	Min	*CDB	-10	-10	-10	
		Máximo	*CDB	46	46	46	
	Calefacción	Min	*CBH	-15	-15	-15	
		Máximo	*CBH	15.5	15.5	15.5	

Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa

DAIKIN • Unidades exteriores • R410A • MXS-E2V1B_E2V3B

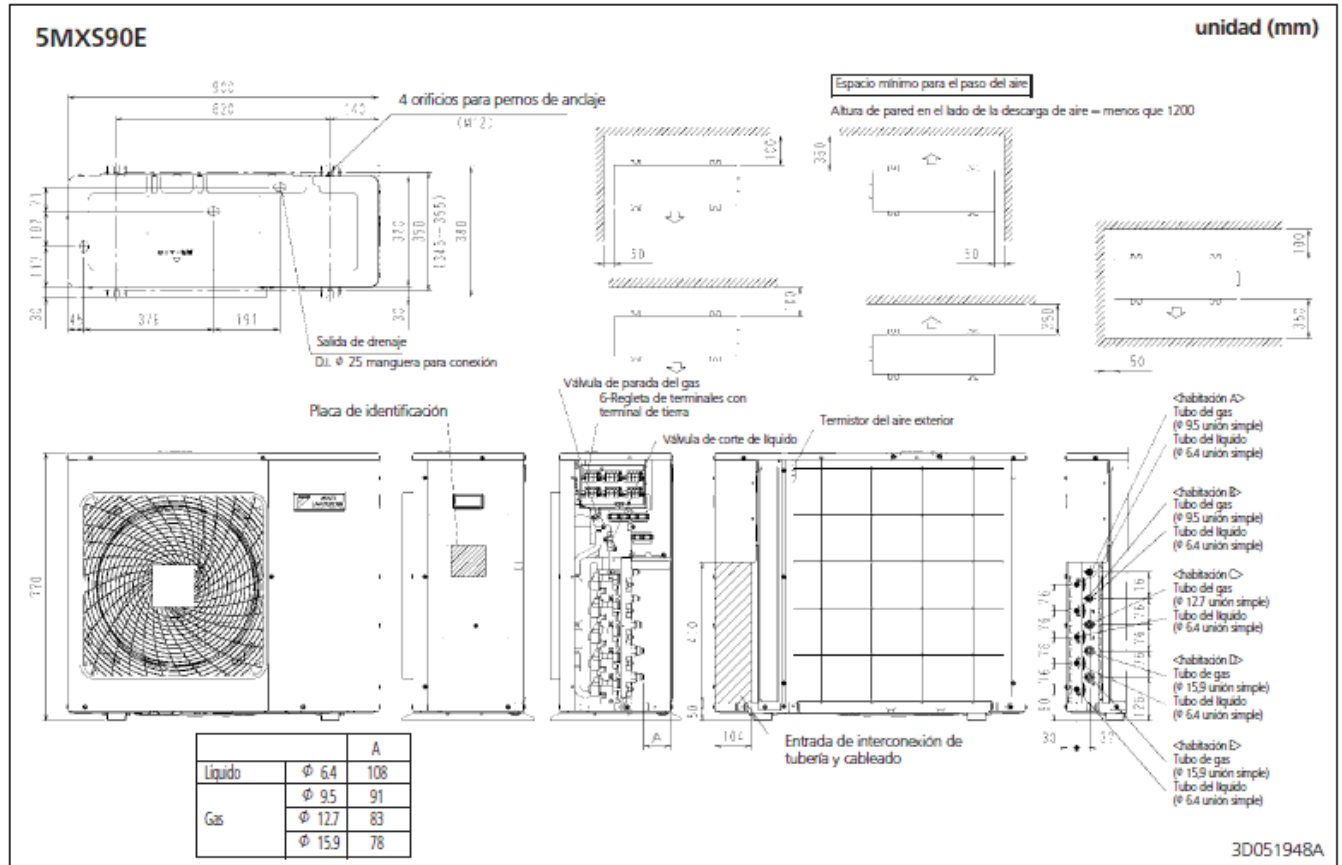
2 Especificaciones

2-1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				3MXS52E2V1B	4MXS80E2V3B	5MXS90E2V3B
Nivel de sonido (nominal)	Refrigeración	Potencia sonora	dBA	59	62	66
		Presión sonora (estándar)	dBA	46	48	52
	Calefacción	Presión sonora (estándar)	dBA	47	49	52
Refrigerante	Tipo			R-410A		
	Carga		kg	2.0	2.99	2.99
Aceite refrigerante	Tipo			FVC50K		
	Volumen cargado		l	0.65	0.75	0.75
Conexiones de tuberías	Líquido (DE)	Cantidad		3	4	5
		Diámetro (DE)	mm	6.35	6.35	6.35
	Gas	Cantidad		2	1	2
		Diámetro (DE)	mm	9.52	9.52	9.52
		Cantidad		1	1	1
		Diámetro (DE)	mm	12.7	12.7	12.7
		Cantidad			2	2
		Diámetro (DE)	mm		15.9	15.9
	Drenaje	Diámetro (DE)	mm	18	25	25
	Longitud de tubería	máximo	m	50 (para el total de cada ambiente)/ 25 (para un ambiente)	70 (para el total de cada ambiente)/ 25 (para un ambiente)	75 (para el total de cada ambiente)/ 25 (para un ambiente)
	Carga de refrigerante adicional		kg/m	0.02/-30m		
	Diferencia de altura de instalación	máximo	m	15	15	15
	Diferencia de nivel máx. entre unidades		m	7.5	7.5	7.5
Aislamiento térmico			Tubos de líquido y de gas			
Accesorios estándar	Artículo			Manual de instalación		
	Cantidad			1	1	1
	Artículo			Tapón de drenaje		
	Cantidad			1	1	1
	Artículo			Conjunto reductor		
	Cantidad			1	1	1
	Artículo			Air direction adjustment plate		
Cantidad			1			
Notas:				Capacidades nominales de refrigeración basadas en: Interior: 29° CBS, 19° CBH; exterior: 7° CBS, 6° CBH, longitud de la tubería de refrigerante: 7,5 m	Capacidades nominales de refrigeración basadas en: Interior: 27°CDB, 19.0°CWB; exterior: 35°CDB, longitud de la tubería de refrigerante: 7.5m	Capacidades nominales de refrigeración basadas en: Interior: 27°CDB, 19.0°CWB; exterior: 35°CDB, longitud de la tubería de refrigerante: 7.5m
				Capacidades nominales de calefacción basadas en: temperatura interior: 20 °CBS; temperatura exterior: 7 °CBS / 6 °CBH; long. tub. refr.: 7,5 m		

2-2 ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS				3MXS52E2V1B	4MXS80E2V3B	5MXS90E2V3B
Alimentación eléctrica	Nombre			V1	V3	V3
	Fase				1~	
	Frecuencia		Hz	50	50	50
	Voltaje		V	230	230	230
Corriente	Corriente nominal de funcionamiento (RLA)	Refrigeración (A)	A	0.33 (H)0.29 (L)	0.97 (H)0.69 (L)	0.69 (L)0.97 (M)1.02 (H)
		Calefacción (A)	A	0.33 (H)0.29 (L)	0.69 (H)0.05 (L)	0.05 (L)0.90 (H)
	Corriente de arranque (refrigeración/ calefacción)		A	6.2	9.7	11.8
Conexiones de cableado	Para alimentación eléctrica	Cantidad		3	3	3
	Para conexión con interior	Cantidad		4	4	4
	Observación			Cable de tierra incluido		

6 Plano de dimensiones y centro de gravedad

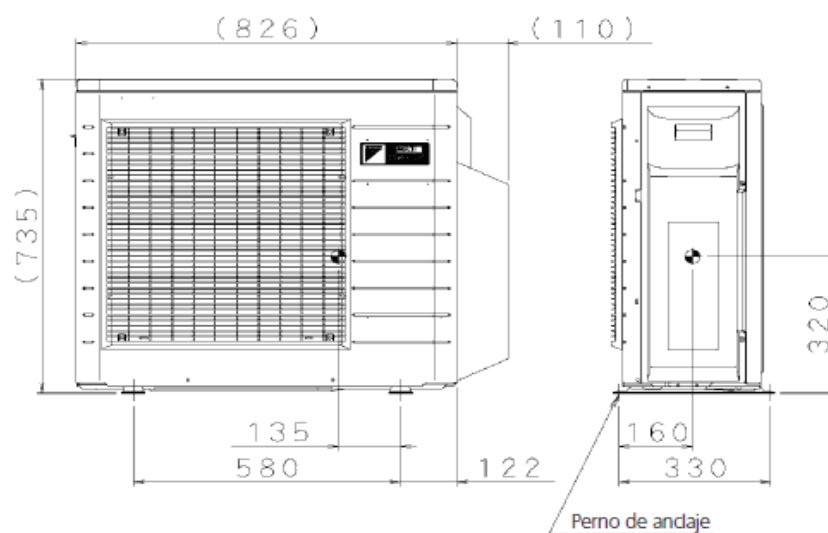
6 - 1 Plano de dimensiones



6 Plano de dimensiones y centro de gravedad

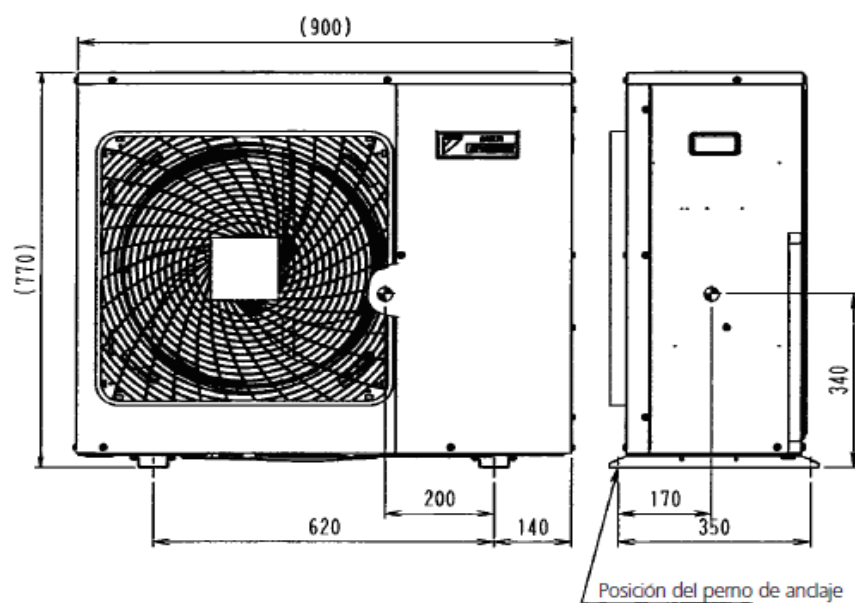
6 - 2 Centro de gravedad

3MXS52E



4D037024J

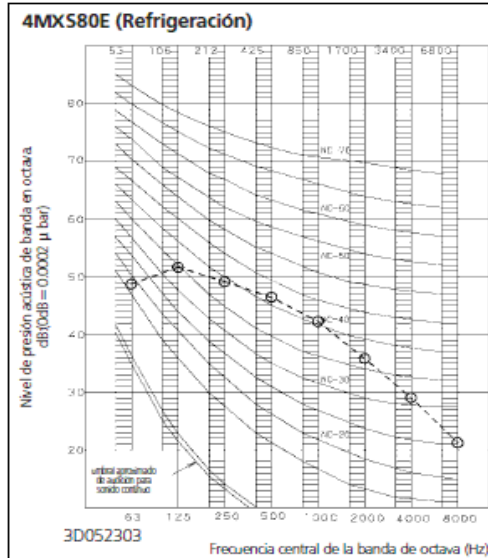
4MXS80E, 5MXS90E



4D052059B

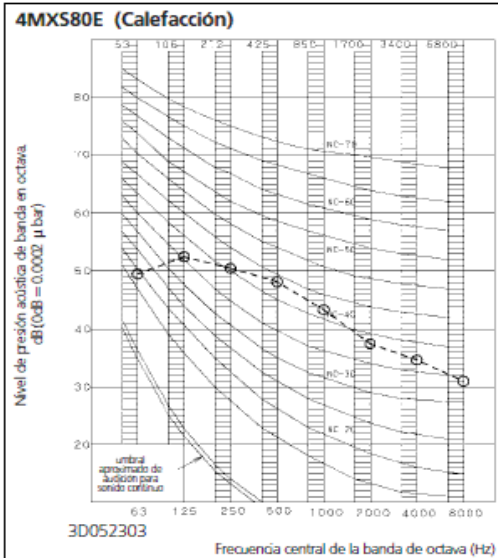
9 Datos acústicos

9 - 1 Espectro de presión sonora



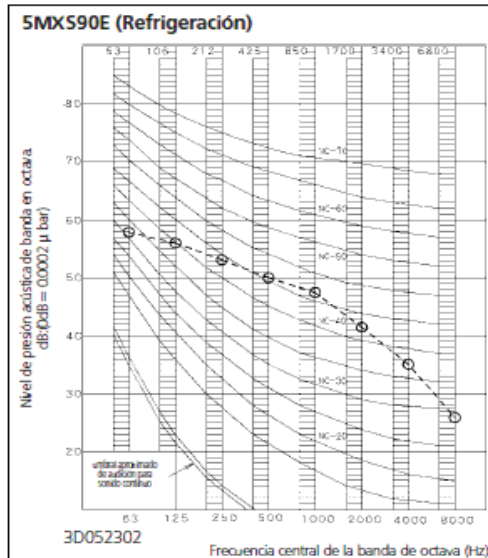
NOTAS

- 1 Las mediciones del sonido de funcionamiento se realizan en una cámara anecoica.
- 2 El sonido durante el funcionamiento varía entre las condiciones de funcionamiento y ambientales.
- 3 El método de medición del nivel sonoro de funcionamiento cumple con la norma JISC9612.



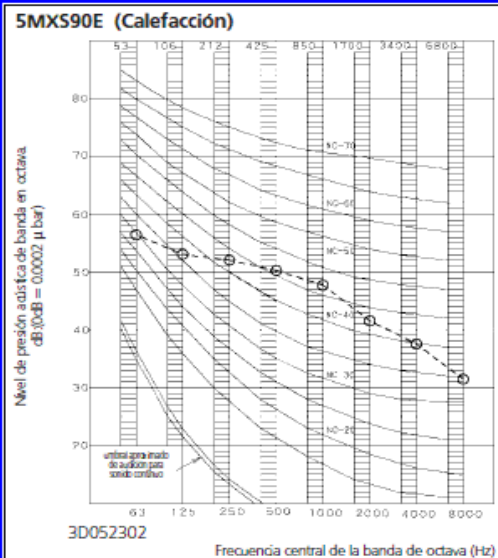
NOTAS

- 1 Las mediciones del sonido de funcionamiento se realizan en una cámara anecoica.
- 2 El sonido durante el funcionamiento varía entre las condiciones de funcionamiento y ambientales.
- 3 El método de medición del nivel sonoro de funcionamiento cumple con la norma JISC9612.



NOTAS

- 1 Las mediciones del sonido de funcionamiento se realizan en una cámara anecoica.
- 2 El sonido durante el funcionamiento varía entre las condiciones de funcionamiento y ambientales.
- 3 El método de medición del nivel sonoro de funcionamiento cumple con la norma JISC9612.

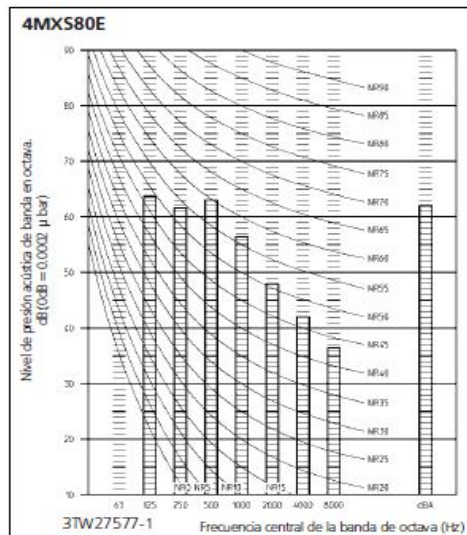


NOTAS

- 1 Las mediciones del sonido de funcionamiento se realizan en una cámara anecoica.
- 2 El sonido durante el funcionamiento varía entre las condiciones de funcionamiento y ambientales.
- 3 El método de medición del nivel sonoro de funcionamiento cumple con la norma JISC9612.

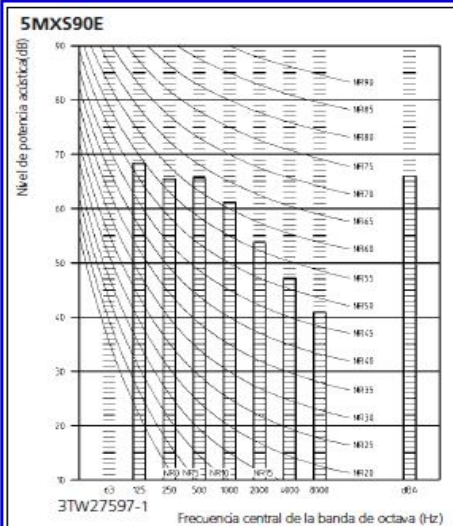
9 Datos acústicos

9 - 2 Espectro de potencia sonora



NOTAS

- 1 dBA = nivel de potencia acústica ponderado-A (escala-A, de acuerdo con IEC)
- 2 Intensidad acústica de referencia 0dB = $10E-6 \mu W/m^2$
- 3 Medido según la norma ISO 3744

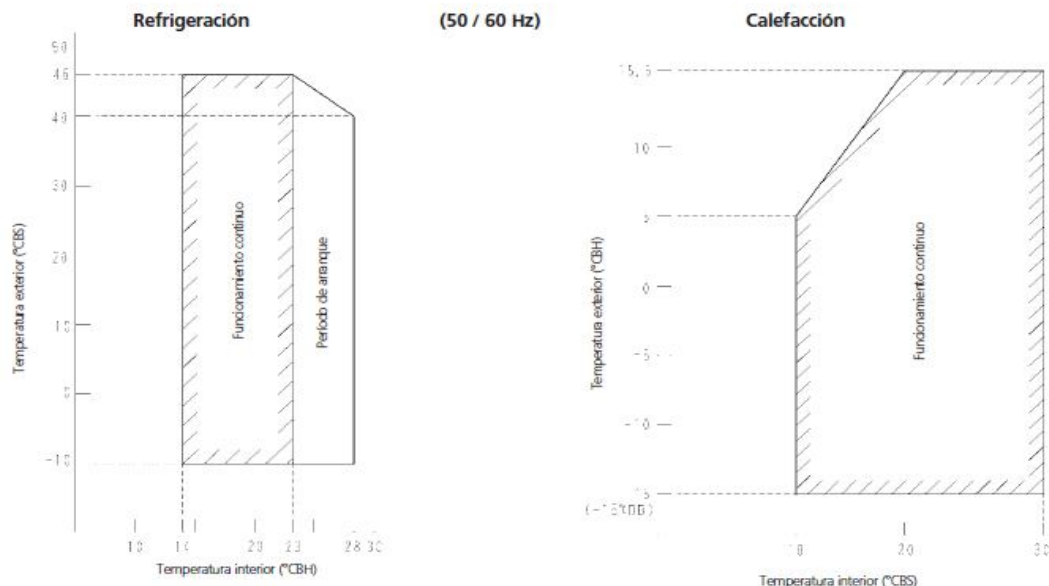


NOTAS

- 1 dBA = nivel de potencia sonora ponderado en A (escala A de acuerdo con la norma IEC)
- 2 Intensidad acústica de referencia 0 dB = $10E-6 \mu W/m^2$
- 3 Medido según la norma ISO 3744

10 Límite de funcionamiento

3MXS52E



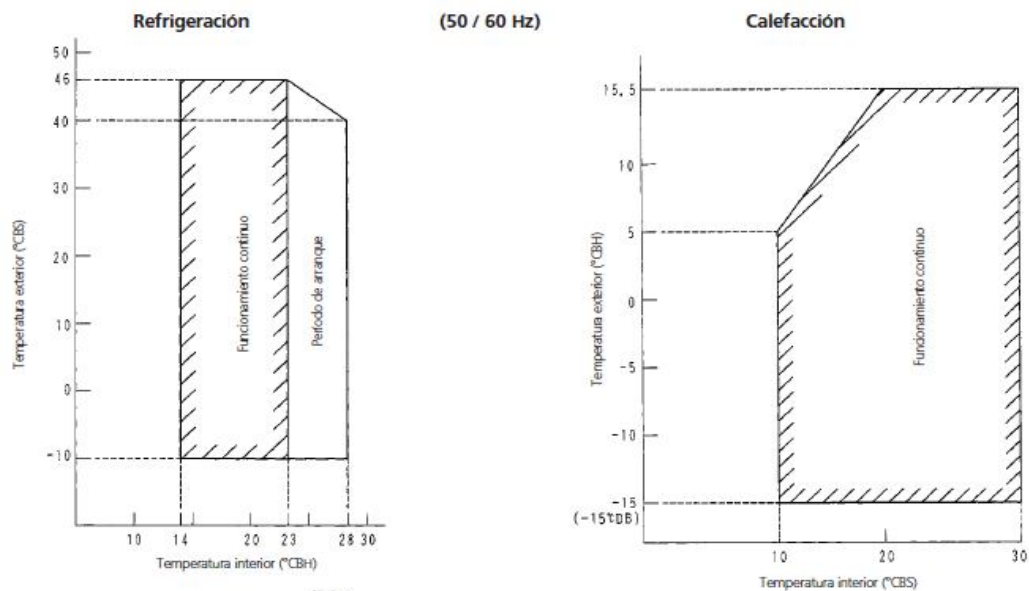
Notas:

Los gráficos se basan en las condiciones siguientes:

- Longitud de tubería equivalente 7,5m
- Diferencia de nivel 0m
- Caudal de aire Alta velocidad

3D034956H

4MXS80E, 5MXS90E



Notas:

Los gráficos se basan en las condiciones siguientes:

- Longitud de tubería equivalente 7,5m
- Diferencia de nivel 0m
- Caudal de aire alto

3D052043B

III. FACTURAS DE ELECTRICIDAD Y GAS NATURAL



RESUMEN DE LA FACTURA

Fecha Factura: 04 de abril de 2012
Periodo de Facturación: Del 31/01/2012 al 27/03/2012
Factura n°:
Referencia:
Total Factura: 129,27 €

Datos del cliente

Titular:
DNI/NIF:
Dirección:
Actividad económica (CNAE): 9820
CUIPS: ES0236150025120458TS
Caudal contador: 5,75 m3
Tarifa de acceso: 3.2P
Número de Contador:



Consumo gas

Lectura Real	(27/03/2012)	8.352 m3
Lectura Real	(31/01/2012)	- 8.176 m3
		176 m3
Factor Conv. Poder Calorífico		10,64200 kWh/m3
Total		1.873 kWh

Facturación

PRODUCTO: TARIFA DE ULTIMO RECURSO T2

Concepto	Cálculos	Importes (€)
Termino energia gas	1.873 kWh x 0,0488 € /kWh	= 91,40
Termino fijo gas	56 x 0,282622 € /kW y DIA	= 15,83
Alquiler de equipos gas		= 2,32
Total		109,55
IVA	Normal 18 % sobre 109,55	= 19,72
	Total de la Factura:	129,27

TOTAL FACTURA

129,27€

Información de su Producto

Le informamos que a fecha 1 de enero se han actualizado los precios de aplicación en su tarifa de Gas, de acuerdo a la última revisión efectuada en la Tarifa de Ultimo Recurso (BOE núm. 315 de 31/12/2011).

Información	Termino fijo			Termino variable		
Facturación ATR	€/mes	Meses	Total(€)	€/kWh	kWh	Total(€)
Tarifa Peaje: 3.2P	5,330000	1,88	9,99	0,020223	1,873	37,88

ORDEN IET/3587/2010 de 30/12/2011

Datos de Pago

Caja o Banco:
Sucursal:
Cuenta Corriente:
Importe: 129,27 €

El importe de esta factura le será cargado en su cuenta a partir del 11/04/2012. Su pago se justifica con el correspondiente apunte bancario.



Contrato n°:

Servicio de Atención al Cliente

800 76 09 09

www.endesaonline.com

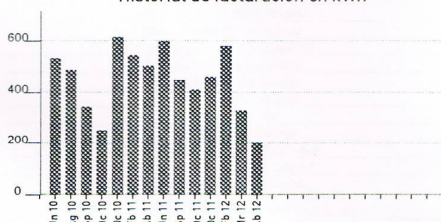
Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa



FACTURA DE ELECTRICIDAD

CLIENTE:		DOMICILIACIÓN BANCARIA:			
DIRECCIÓN:		BANCO:		SUCURSAL:	
N.I.F./C.I.F.:		DC:		CUENTA:	
NÚMERO DE FACTURA:		FECHA DE EMISIÓN: 30-05-2012		FORMA DE PAGO: DOMICILIADO BANCO	
FECHA DE VENCIMIENTO:					
CONCEPTOS TARIFA TUR		PERIODO	UNIDAD/BASE	PRECIO/PORCENTAJE	IMPORTE €
SERVICIOS EN CALLE		MADRID (MADRID)			
Electricidad y Servicios 6307370					
Término fijo de potencia (3,3 kW)		25-04-2012 / 28-05-2012	33 días	0,059817 Euros/kW/día	6,51
Energía		25-04-2012 / 28-05-2012	268 kWh	0,142138 Euros/kWh	38,09
Alquiler de Equipo		25-04-2012 / 28-05-2012			0,62
Impuesto Eléctrico (44,60 Euros x 1,05113)			46,88 Euros	4,864 %	2,28
I.V.A.			47,50 Euros	18 %	8,55
IMPORTE TOTAL					56,05 €

Historial de facturación en kWh



DATOS DE INTERÉS

CUPS: ES0022000006307370BK1P Contrato con la distribuidora (ATR) nº: 104612038261 Fecha Fin Contrato: 01-07-2012 Peaje de Acceso: 2.0A

Datos necesarios para el cálculo de la Tarifa de Acceso:

T. Consumo	L. Anterior	L. Actual estimada	CTE	Cons. estimado
Energía Total	24718	24986	1	268

Le informamos que el importe que la compañía comercializadora debe pagar a la compañía distribuidora correspondiente a su facturación de acceso a la red durante el periodo ha sido de 23,80 Euros (impuestos no incluidos) de acuerdo con el tipo de peaje aplicable de conformidad con el RD 1164/2001.

Facturación en base a consumos estimados. Para ello se ha considerado el consumo del mismo periodo del año anterior.

De conformidad con lo establecido en la Resolución de la DGPE y M de 14 de mayo de 2009, los importes cobrados tienen la consideración de pagos a cuenta que se regularizarán en la primera factura con lectura real que se emita.

Disposición oficial y fecha de publicación tarifas en BOE N.100 de 26.04.2012.

El importe a pagar en concepto de impuesto eléctrico se obtiene multiplicando el factor de corrección (1,05113) y el tipo impositivo (4,864%) por la suma de los importes correspondientes a la energía consumida y a la potencia contratada.

Costes según BOE 31-03-2011 : Servicio: 91,063%, Permanentes: 6,199%, Diversificación y Seguridad de abastecimiento: 2,738%

CONTACTE CON NOSOTROS

CENTRO DE SERVICIOS ATENCIÓN AL CLIENTE
DE 8 A 22 HORAS
DE LUNES A SABADO 901 404040

AVERÍAS ELÉCTRICAS
901 203040

Nº DE IDENTIFICACIÓN 903409115762

www.gasnaturalfenosa.es

El pago de esta factura se acredita mediante correspondiente adeudo bancario o recibo de caja.

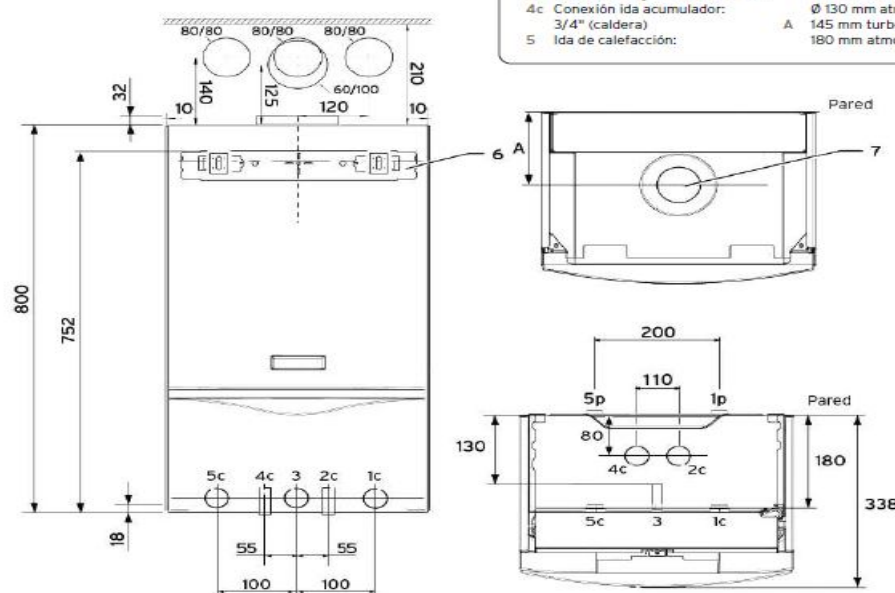
Gas Natural S.U.R. SGO, S.A. C.I.F. A-65067332
Domicilio Social: Plaza del gas nº 1 08003 BARCELONA
Inscrita en el Registro Mercantil de Barcelona. Tomo 41151. Folio 194. Unión número D. 996167. Inscripción 1.

IV. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS CALDERAS DE GAS Y GASOIL

Calefacción y ACS



Dimensiones calderas sólo calefacción



00 2001 7744 VR 40, Módulo multifunción 2 de 7 funciones (eBUS)

00 2004 8666 Plantilla o conexiones hidráulicas para caldera sólo calefacción

306 257 Sonda para acumulador para calderas de sólo calefacción

La caldera de sólo calefacción no incluye la sonda para el acumulador pero sí puede realizar toda la gestión electrónica de temperaturas, etc.

Calefacción de una vivienda unifamiliar utilizando la bomba de calor de compresión mecánica de expansión directa

Calefacción y ACS



Calderas sólo calefacción

Tipo de aparato	Unidad	turboTEC plus		atmoTEC plus	
		VM ES 242/3-5	VM ES 282/4-5	VM ES 240/3-5	VM ES 280/3-5
Calefacción y agua caliente sanitaria					
Consumo calorífico nominal mínimo	kW	9,4	10,9	10,7	12,4
Consumo calorífico nominal máximo	kW	26,7	31,1	26,7	31,1
Margen de modulación de potencia	kW	8,1-24	9,5-28	9,6-24	10,9-28
Margen de modulación de potencia	%	34-100	34-100	40-100	39-100
Potencia nominal	kW	24	28	24	28
Rendimiento a carga total	%	93,1	93,5	92,5	90,5
Rendimiento al 30% de la carga	%	90,4	90,9	86,7	87,6
Clasificación energética ¹⁾		★★★	★★★	★★	★★
Calefacción					
Potencia útil en calefacción	kW	24	28	24	28
Rango de temperaturas de impulsión	°C	30-75 (85)	30-75 (85)	30-75 (85)	30-75 (85)
Máx. ajustable temp. impulsión	°C	40-85	40-85	40-85	40-85
Cantidad nominal de agua ($\Delta T = 20$ K)	l/h	1032	1203	1032	1203
Presión disponible de la bomba	mbar	250 (350-170)	250 (350-170)	250 (350-170)	250 (350-170)
Volumen del vaso de expansión	l	10	10	10	10
Presión previa del vaso de expansión	bar	0,75	0,75	0,75	0,75
Presión máxima del circuito de calefacción	bar	3	3	3	3
Agua caliente sanitaria					
Potencia útil en ACS	kW	24	28	24	28
Rango de temperaturas regulable	°C	15-75	15-75	15-75	15-75
Conexiones					
Ida y retorno de calefacción	R" - mm Ø	3/4 - 22	3/4 - 22	3/4 - 22	3/4 - 22
Dirección/distancia a la pared calefacción	mm	horiz/180 mm	horiz/180 mm	horiz/180 mm	horiz/180 mm
Ida y retorno acumulador ACS	R" - mm Ø	3/4	3/4	3/4	3/4
Dirección/distancia a pared conex. acum.	mm	vertical/80 mm	vertical/80 mm	vertical/80 mm	vertical/80 mm
Distancia entre conexiones acumulador	mm	110	110	110	110
Conexión de gas	mm Ø - R"	15 - 3/4	15 - 3/4	15 - 3/4	15 - 3/4
Salida de la válvula de seguridad	R" - mm Ø	1/2 - 15	1/2 - 15	1/2 - 15	1/2 - 15
Dimensiones					
Altura	mm	800	800	800	800
Anchura	mm	440	440	440	440
Profundidad	mm	338	338	338	338
Peso, aprox.	kg	36	37	32	33
Conducto de evacuación					
Diámetro	mm	60/100	60/100	130	130
Distancia Vertical	m	5,5	4,3	-	-
Distancia Horizontal	m	4,5 + 1 codo	3,3 + 1 codo	-	-
Evacuación opcional	mm	80/125	80/125	-	-
Distancia Vertical	m	18,0	14,0	-	-
Distancia Horizontal	m	15,5 + 1 codo	11,5 + 1 codo	-	-
Evacuación opcional	mm	80/80	80/80	-	-
Distancia Vertical	m	33*	29*	-	-
Tipos de instalaciones admitidas		C12, C32, C42, C52, C82, B22, B22P, B32		B115	
Conexión eléctrica					
Tensión / frecuencia de alimentación	V/Hz	230 / 50	230 / 50	230 / 50	230 / 50
Potencia absorbida	W	140	145	97	97
Tipo de protección eléctrica		IP X4D	IP X4D	IP X4D	IP X4D
Combustión					
Caudal de los PDC (Potencia mín./máx.)	g/s	18,1/16,7	19,4/21,7	20,0/15,8	17,9/19,6
Temp. de los PDC (Potencia mín./máx.)	°C	110/150	110/150	85/116	90/122
Homologación	CE	00694BS1373	00694BS1373	0085BR0340	0085BR0340

Calderas estancas homologadas para salida concéntrica con accesorios Vaillant 60/100 y 80/125 y para salida excéntrica con accesorios Vaillant 80/80.

Para los sistemas de salida de gases 60/100 y 80/80, cada codo de 90° resta un metro de longitud. Cada codo de 45° resta 0,5 metros de longitud.

Para el sistema de salida de gases 80/125, cada codo de 87° resta 2,5 metros de longitud. Cada codo de 45° resta 1,0 metros de longitud.

¹⁾ Según Directiva Europea 92/42/CEE.

SUPRACOMBI - SUPRAACU

Elevado confort en calefacción y agua caliente en reducidas dimensiones y de forma muy silenciosa.

- ▶ **Ahorro de espacio:** estos modelos han sido diseñados para la instalación en la cocina. Con un ancho de sólo 370 mm. en la SupraCombi, y de 520 mm. en la SupraAcu, ofrecen una gran flexibilidad de emplazamiento.
- ▶ **Muy silenciosas:** su aislamiento acústico, reduce al mínimo el nivel de sonoridad. Las pantallas cortaviento del hogar, se han rediseñado reduciéndose en un 10% el ya bajo nivel de ruido que las calderas producían, convirtiéndola en una de las más silenciosas del mercado.
- ▶ **Flexibilidad de ubicación:** estos aparatos se ofrecen con la alternativa de la salida de gases quemados convencional y una variante de salida de bajo nivel para aumentar la flexibilidad de ubicación. Esta última opción, sale por debajo de la altura de la caldera, ocultando la instalación.
- ▶ **Elementos de regulación y control:** en todos los aparatos pueden conectarse fácilmente tanto programadores como termostatos.



Interior SUPRACOMBI - SUPRAACU

1. Mandos giratorios, para elegir la temperatura de calefacción y a.c.s.

2. Cuerpo de caldera de chapa de acero.

3. Intercambiador de placas.

4. Envoltura aislante térmica. Reduce considerablemente las pérdidas de calor.

5. Termomanómetro.

6. Válvula de seguridad de 3 bar.

7. Bomba circuladora con 3 velocidades.

8. Quemador regulable en potencia, con precalentador.



Dimensiones (mm)

Modelo	A	B	C
CGW 25	855	370	600
CGA 25	855	520	600



SUPRACOMBI

El modelo SupraCombi posibilita calefacción y agua caliente sanitaria en un mismo aparato. Todo en un reducido espacio.

- Depósito acumulador.
- Quemador con precalentador.
- Bomba de circulación con tres velocidades.
- Vaso de expansión.
- Válvula de seguridad.
- Intercambiador de placas.
- Salida trasera o superior para gases quemados.
- Panel de mandos con interruptor general.
- Termostato de regulación.
- Termomanómetro.
- Pilotos de indicación de caldera conectada y bloqueo de quemador y alojamiento para programador.

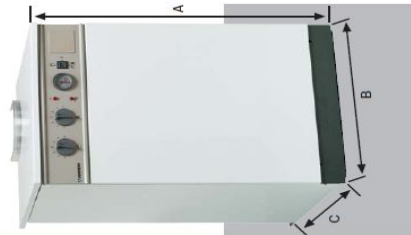


SUPRACOMBI
CGW 25

SUPRAACU

SupraAcu, incluye un depósito de agua de primario, para suministrar caudales de agua muy elevados (hasta 18 l/min.) con una rápida recuperación entre toma y toma.






- Quemador con precalentador.
- Bomba de circulación con tres velocidades.
- Vaso de expansión.
- Válvula de seguridad.
- Intercambiador de placas.
- Salida trasera o superior para gases quemados.
- Panel de mandos con interruptor general.
- Termostato de regulación de calefacción y a.c.s. independientes.
- Termomanómetro.
- Pilotos de indicación de caldera conectada y bloqueo de quemador y alojamiento para programador.



SUPRAACU
CGA 25

Regulación

El mejor sistema de calefacción merece la mejor regulación.


	SUPRACOMBI	SUPRAACU	SUPRACTL Y TL	SUPRALINE
 TR 12	X	X	X	X
 TRZ 12-2	X	X	X	X
 EU 9 D	X	X	X	X
 TR 15 RF TR 15 RFT	X	X	X	X
 SWM 1				X



= 108 kW




La centralita de regulación con sonda exterior TA 122 E 2 permite el control de dos calderas de pie de la serie Supraline, de modo principal/reserva y calentamiento de un depósito acumulador. De esta forma Junkers puede llegar con sus sistemas de calefacción hasta 108 kW, dando respuesta a las necesidades de cualquier instalación.



TRZ 12-2

El TRZ 12-2 y el TR 15 RF/TR 15 RFT son cronotermostatos digitales con reloj semanal. Mediante ellos puede ajustar los dos niveles de confort en su vivienda, y definir en ciclos semanales, cuál será la temperatura elegida para cada momento.





TR 15 RF/TR 15 RFT

El TRZ 12-2 se comunica con la caldera mediante dos hilos, y se alimenta de dos pilas LR6, con una duración teórica aproximada de 2 años.

El TR 15 RF/TR 15 RFT está indicado en aquellos casos donde la instalación de los cables de comunicación termostato - caldera no sea posible, dado que se trata de un cronotermostato vía radio.

Datos Técnicos

	SUPRACOMBI	SUPRAACU
		
Modelo	CGW 25	CGA 25
Tipo de aparato/combustible	chapa de acero/gasóleo	chapa de acero/gasóleo
Datos Calefacción		
Potencia útil (kW)	25	25
Presión máx. de circuito (bar)	3	3
Capacidad vaso expansión (l)	10	12
Datos a.c.s.		
Método de producción	instantáneo	acumulador primario 46 l. intercambiador
Potencia útil (kW)	25	25
Caudal específico $\Delta T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (l/m)	14,3	14,3
Peso (kg)	118	145
\varnothing evacuación de gases (mm)	125	125

	SUPRACTL y TL									
Modelo	CTL25 CK	CTL40 CK	TL60 CK	CTL25 SK	CTL40 SK	TL60 SK	CTL25 CA	CTL40 CA	CTL25 SA	CTL40 SA
Tipo de servicio	Solo calefacción			Calefacción y a.c.s. acumulada			Solo calefacción			
Versión	Atmosféricas			Estancas			Estancas			
Potencia útil máx. (kW)	25	40,3	60,3	25	40,3	60,3	25	40,3	25	40,3
Caudal específico (según EN 303-6) l/min.	-	-	-	16,5	21,8	26,8	-	-	16,5	21,8
Presión máx. de circuito (bar)	3			3			3			
Datos a.c.s.										
Capacidad del tanque acumulador (l)	-	-	-	78	120	150	-	-	78	120
Capacidad vaso de expansión (l)	-	-	-	-	-	-	-	-	18	-
Peso (kg)	110	159	186	146	206	237	110	110	110	110
\varnothing evacuación de gases (mm)	125	153	180	125	153	180	80/125			

	SUPRALINE			
Modelo	KN 30-8 EC	KN 36-8 E	KN 42-8 E	KN 54-8 E
Tipo de aparato/combustible	Hierro fundido/gas			
Datos Calefacción				
Potencia útil (kW)	30	36	42	48
Presión máx. de circuito (bar)	3	3	3	3
Capacidad vaso expansión (l)	12	-	-	-
Datos a.c.s.	mediante acumulador externo con módulo de preferencia SWM1			
Método de producción	mediante acumulador externo con módulo de preferencia SWM1			
Peso (kg)	128	131	147	164
\varnothing evacuación de gases (mm)	150	150	180	180